Ueber die

# Leitungsgesetze

im

# Rückenmarke

Von

***Carl Eigenbrodt,***

Dr. med.

Mit einem Vorworte

von

***Dr. Th. Bischoff.***

Giessen, 1849.

Ernst Heinemann.

(Heyer's Univers.-Buchhandlung.)

# Vorwort.

Schon seit längerer Zeit war es mein Wunsch, ja ein dringend gefühltes Bedürfniss, mich durch eigene Anschauung und Beobachtung in den durch die Arbeiten neuerer Beobachter zwar vielfältig erweiterten, aber auch in nicht minder vielen Beziehungen einander widersprechenden und verwirrenden Lehren über die Funktionen des Rückenmarkes zu orientiren und zu befestigen. Von meiner Theilnahme an Seubert's Arbeit über die Funktionen der Wurzeln der Rückenmarksnerven her, von einzelnen Versuchen, die ich verschiedentlich unternommen, mich über einzelne aufgestellte Lehren, namentlich in Beziehung auf die Reflexerscheinungen zu unterrichten, hatte ich die feste Ueberzeugung gewonnen, dass auch das Thema über das Rückenmark zu denjenigen gehört, bei welchen man nur durch ganz umfassende, anhaltende und umsichtige Beobachtungen zu einiger Sicherheit gelangen, und das Recht zum Mitsprechen gewinnen kann. Bei keinem Gegenstande kann das Gebiet der Täuschungen, der voreiligen Sicherheit, der scheinbaren Widersprüche grösser sein, als bei diesen Versuchen über das Rückenmark. Positive und negative Re-

sultate derselben verleiten fortwährend zu falschen Schlüssen. Heute glaubt man mit der grössten Sicherheit dieses oder jenes Resultat der Versuche erlangt zu haben, dasselbe wiederholt sich längere Zeit; und morgen ergiebt sich wieder ein Widerspruch. Man hat irgend Etwas übersehen, irgend Etwas falsch aufgefasst, irgend einer Erscheinung einen zu grossen oder zu geringen Werth beigelegt, und diese Missgriffe rächen sich dann bei Wiederholung in einem widersprechenden Resultate. Zu dieser Einsicht gelangt man aber eben nur bei anhaltender Beschäftigung mit dem Gegenstande und Angriff desselben von den verschiedensten Seiten. — Auch die betreffende Literatur, wie sie sich in den verschiedenen Arbeiten van Deen's, Stilling's, Budge's, Valentin's, Volkmann's, Longet's, Marshal-Hall's und der zahlreichen Bearbeiter der Reflexionserscheinungen findet, gehört wahrlich schon nicht zu den kleinen und leicht zu bewältigenden Aufgaben, ja sie ist meiner Ansicht nach ohne eigene praktische Beschäftigung mit der Sache selbst gar nicht zu lösen.

Ich suchte desshalb schon seit längerer Zeit einige befähigte jüngere Männer für die Lehre über die Functionen des Rückenmarkes zu interessiren und sie zu veranlassen, einzelne Parthien derselben zu Gegenständen ihrer Dissertationen zu wählen. Ich wünschte von ihnen das Rückenmark in seiner Beziehung zu den psychischen Thätigkeiten, als Reflexionscentrum, sowie die Leitungsgesetze in demselben bearbeitet zu sehen. Ein Versuch dazu misslang, grösstentheils durch den Drang der politischen Ereignisse. Dagegen glaube ich in der gegenwärtigen Arbeit des Herrn

Eigenbrodt über die Leitungsgesetze in dem Rückenmarke meinen Zweck so vollständig erreicht zu haben, als dieses die gegenwärtigen Hülfsmittel der Wissenschaft gestatten. In Herrn Eigenbrodt's hervorstechender Eigenschaft, einem ausdauernden und unverdrossenen Fleisse, in einer fast übergrossen Bedenklichkeit und Genauigkeit und der daraus entspringenden sorgfältigen Kritik, fand ich die vorzüglich nothwendigsten Bedingungen zur Lösung der gestellten Aufgabe. Ich bin Herrn Eigenbrodt das Zeugniss schuldig, dass er sich derselben auf das Wärmste gewidmet und ihr viele Zeit und Arbeit geopfert hat. Was sich in den nachfolgenden Blättern gegeben findet, ist das Resultat zahlloser anatomischer Untersuchungen und Viviseetionen, mit denen es leicht möglich gewesen wäre, einen ganzen Band zu füllen. Ebenso hat sich derselbe aus der betreffenden Literatur ein umfassendes Studium gemacht, und wenn sich dieses nicht in ausführlichen Referaten der Vorarbeiten und zahlreicheren Citaten ausspricht, so ist dieses auch nur aus Rücksicht für möglichste Kürze der Abhandlung geschehen. Aber die betreffenden Vorgänger können sich versichert halten, dass ihre Arbeiten auf das Genaueste studirt und keine ihrer bedeutenderen Angaben übersehen worden ist.

Was die gewonnenen Resultate betrifft, so glänzen sie nicht durch überraschende Neuheit und unerwartete Aufschlüsse; ja es findet sich unter denselben vielleicht keines, welches nicht schon vorher irgend einmal ausgesprochen worden ist. Doch möchte vielleicht keiner der Vorarbeiter diese Angaben sicherer begründet, und wahre und falsche

Gründe für dieselben besser voneinander gesondert haben. Und zu einem nicht geringeren als diesem Verdienste, glaube ich das negative dem Verfasser anrechnen zu können, dass er irrige Angaben und Lehrsätze widerlegt und dadurch die ganze Lehre vereinfacht hat. — Wenn es nun auch gelungen sein sollte, in der Darstellung das Rechte getroffen, Klarheit und Deutlichkeit erreicht, das Wichtigere vor dem weniger Wichtigeren scharf bezeichnet und hervorgehoben zu haben, worüber ich mich weniger competent als Richter fühle, da das Ganze zu sehr unter meinen Augen und allmähligen Theilnahme entstanden ist, so hoffe ich, dass diese Arbeit eben wegen der von ihr bezeugten Eigenschaften auch den Kennern der Wissenschaft nicht unerfreulich sein wird, indem sie jedenfalls in einem noch sehr schwankenden Gebiet eine fernere Sicherheit darbietet.

Giessen, im Januar 1849.

**Dr. Bischoff.**

# Einleitung.

Die bis jetzt über die Leitungsgesetze im Rückenmarke angestellten Untersuchungen haben in vieler Beziehung verschiedene, zum Theil sich direkt widersprechende, Resultate ergeben. — Noch am meisten Uebereinstimmung besteht im Allgemeinen in Bezug auf die Frage über die verschiedene Leitung in Vorder- und Hintersträngen. Mehrere der älteren Untersuchungen [1]) über diesen Gegenstand, welche aus der Zeit herrühren, als der *Bell*'sche Lehrsatz in Bezug auf die Nervenwurzeln noch nicht als unbestreitbares Factum dastand, und zugleich mit Experimenten zur Prüfung dieses Satzes angestellt wurden, führten zwar zu dem Resultate, dass die Vorder- und Hinterstränge sensibele und motorische Fasern enthielten, erstere aber nur vorzugsweise motorisch, letztere vorzugsweise sensibel seien. Die Mehrzahl der neueren Untersuchungen stimmt dagegen darin überein, dass die Vorderstränge nur motorisch, die Hinterstränge nur sensibel sind: so die Untersuchungen von *van Deen* [2]), *Kürschner* [3]),

1) *Schöps,* Meckel's Archiv 1827. *Rolando,* Sperimenti su i fascicoli del midollo spinale. 1828. *Seubert,* Comment. de funct. radic. ant. et post. nerv. spinal. Badae 1833.

2) Traités et decouvertes sur la physiologie de la moëlle épinière. Leide 1841.

3) *Marshall-Hall,* Abhandlung über das Nervensystem. Uebersetzt von Kürschner. Marburg 1840. pag. 192. flg. *Müller's* Archiv 1840. pag. 115.

*Longet* [1]) und *Stilling* [2]). — Auch *Valentin,* der seinen früheren Untersuchungen [3]) zu Folge sich unbedingt für die Mischung der sensibelen und motorischen Fasern im Rückenmarke aussprach, erklärt in seinen neueren Schriften [4]), dass sich die Vermischung vorzugsweise in den Seitensträngen concentrire, während die freiliegenden Mittelparthieen der vorderen Fläche rein motorisch, die hinteren rein sensibel seien. — *Budge* [5]) ist demnach von den Neueren der Einzige, der überhaupt die Existenz rein sensibler und rein motorischer Theile am Rückenmarke läugnet. — Obgleich sich demnach bereits namhafte Physiologen für die Gültigkeit des *Bell*'schen Satzes auch in Beziehung auf die Vorder- und Hinterstränge des Rückenmarkes ausgesprochen haben, so lässt sich dies doch noch nicht als ein physiologisches, in die Wissenschaft aufgenommenes Factum ansehen. Betrachten wir nämlich die Experimente, worauf die Vertheidiger dieses Satzes ihre Ansicht stützen, genauer, so ergiebt sich, dass unter ihnen nur *Longet* einen bündigen und vollständigen Beweis durch Versuche an Säugethieren geliefert hat, während die übrigen Autoren zum Theil Experimente zum Beweise dieses Satzes anführen, welche sich bei genauerer Prüfung als ungenau erweisen. — Durch Versuche an Fröschen allein lässt sich überhaupt dieser Beweis nicht überzeugend führen, da die Gefühlsreactionen dieser Thiere zu unbestimmt und zweideutig sind. — *Stilling* hat zwar auch an Säugethieren experimentirt und durch die Reizung der Durchschnittsfläche des mit dem Gehirne zusammenhängenden Rückenmarkes dargethan, dass die Vorderstränge keine sensibele Fasern enthalten, doch seine Versuche enthalten keine direkte Widerlegung der Annahme, dass in den Hintersträngen ausser einer Ueberzahl sensibler Fasern auch motorische verlaufen. —

---

1) Anatom. et physiol. du syst. nerv. Tom. I. Paris 1842. pag. 273.

2) Untersuchung über die Functionen des Rückenmarkes und der Nerven. Leipzig 1842. *Roser* u. *Wunderlich,* Archiv Bd. 1. 1842 pag. 103 ffg.

3) De functionibus nervorum. 1839. pag. 134.

4) Repertor. für Anat. et Physiol. Bd. VI. 1841. pag. 319. — Lehrbuch der Physiol. 1844, Bd. 2. pag. 738 et 795.

5) Untersuchungen über das Nervensystem. Frankf. 1841.

Durch die Reizung der Oberfläche der Hinterstränge entstehen heftige Schmerzensäusserungen und allgemeine Bewegungen; es lässt sich daher hierbei immerhin annehmen, dass wenigstens ein Theil der unterhalb der Reizungsstelle eintretenden Bewegungen in Folge direkter Reizung motorischer Nervenfasern entstanden sei. — Nach der Durchschneidung der Vorderstränge war allerdings die Bewegung vollständig erloschen; dabei lässt sich aber einwenden, dass die Leitung der in den Hintersträngen verlaufenden motorischen Fasern durch den Operationseingriff aufgehoben worden sei, da auch das Gefühl sehr herabgesunken war. *Kürschner* hat nun zwar durch Versuche an decapitirten Kaninchen gezeigt, dass die Hinterstränge keine motorischen Fasern enthalten, aber der Versuch, aus dessen Resultat er schliesst, dass in den Vordersträngen keine sensibele Fasern verlaufen, hat keine Beweiskraft. Er zerstörte nämlich einem decapitirten Frosche die Hinterstränge mit Nadeln und sah hierdurch die Reflexbewegungen erlöschen. Sensible Fasern können aber nur durch die hinteren Wurzeln und die hintere Hälfte des Rückenmarkes in die Vorderstränge gelangen. Existiren also solche Fasern, so wurden sie in diesem Experimente vor ihrem Eintritt in die Vorderstränge zerstört.

Nur bei den neueren Untersuchungen über die Leitung im Rückenmarke wurde auch der Unterschied berücksichtigt, der anatomisch zwischen der grauen und weissen Substanz besteht, und die verschiedene Leitungsfähigkeit dieser beiden Substanzen zu erforschen gesucht. — Es herrscht indess in Bezug auf diese Frage noch grosse Verwirrung und Dunkelheit. — Bei der Anstellung der Experimente wurden meist die anatomischen und histologischen Verhältnisse zu wenig berücksichtigt und häufig die Beweiskraft solcher Versuche überschätzt. Die Resultate, welche *van Deen* und *Stilling* erhielten, die sich speciell mit diesem Gegenstande beschäftigten, weichen sehr von einander ab. — *Van Deen* spricht sich in den am Ende seines Werkes stehenden Schlusssätzen etwas unbestimmt aus, so dass sich seine Meinung nicht leicht mit wenig Worten wiedergeben lässt. Das Wesentlichste derselben scheint mir indess Folgendes zu sein: dass die weisse Substanz ohne die graue nicht leicht Gefühl vermitteln und keine Bewegung zu Stande bringen könne; dass

aber die Empfindung noch fortbestehe, wenn die unmittelbare Verbindung der weissen Substanz mit dem Gehirne aufgehoben sei; und dass sowohl die vordere wie die hintere graue Substanz Gefühl vermitteln könne. Nach *Stilling* [1]) leitet die weisse Substanz nicht in der Längs-Richtung, sondern nur in der Dicke des Rückenmarkes. Die hintere weisse Substanz leitet gegen die Axe des Rückenmarkes hin, die vordere von der Axe nach der Oberfläche. Die Bewegungen entstehen vorzugsweise und nur vermittelst der vorderen grauen Substanz; die Empfindung wird vorzugsweise durch die hintere graue Substanz und niemals ohne dieselbe vermittelt. — Dieser Ansicht *Stillings* stellt *Volkmann* [2]) einen direkt widersprechenden Versuch entgegen, der die Leitung der weissen Substanz in der Längs-Richtung des Rückenmarkes darthut. Es mangelt demnach in Bezug auf diese Frage alle Uebereinstimmung.

Um über diese Fragen zu einem eignen Urtheile zu gelangen, habe ich die in den folgenden Blättern beschriebenen Versuche, grösstentheils in Gemeinschaft mit Herrn Professor *Bischoff* angestellt. — Ich habe dabei von den verschiedenen Versuchen welche bis jetzt über diesen Gegenstand angestellt wurden, nur diejenigen wiederholt, welche mir Beweiskraft zu haben, oder doch zur Entscheidung einer bestimmt gestellten Frage mitbenutzt werden zu können schienen. Versuche der Art an Säugethieren gehören bekanntlich zu den grausamsten und schwierigsten, die die Experimentalphysiologie kennt; nichts destoweniger sind sie unentbehrlich und durch Versuche an Frösehen nicht zu ersetzen. Wendet man Chloroform an, so können diese Versuche nicht mehr grausam genannt werden. Die ganze Operation kann, ohne dass das Thier einen Schmerzenslaut von sich giebt, ausgeführt werden, und das Gelingen des Versuches ist wesentlich erleichtert. Ein Haupthinderniss, das die Beobachtung stört, bleibt immer noch die profuse Blutung, gegen welche durch Unterbindung nichts auszurichten ist. — Ich habe ferner bei diesen Unter-

---

1) Unters. pag. 106. u. 107.

2) Nervenphysiol. in *Rudolph Wagner's* Handwörterb. der Physiol. pag. 552.

suchungen mehr auf die anatomischen und histologischen Verhältnisse Rücksicht genommen, als dies bei den bis jetzt angestellten geschehen ist, und glaube, auch hierbei von Hrn. Prof. *Bischoff* unterstützt, über einige Fragen des mikroskopischen Faserverlaufs im Rückenmarke, Resultate erhalten zu haben, welche für die Physiologie nicht ohne Interesse sind.

Zunächst werde ich eine Besprechung dieser anatomischen Verhältnisse vorausschicken, um mich bei der Beschreibung der Experimente und der Erklärung der bei denselben beobachteten Erscheinungen, stets auf die festgestellten anatomischen Facta stützen zu können.

## *Erstes Kapitel.*

## Anatomische Verhältnisse.

Eine Betrachtung der hierher gehörigen anatomischen Verhältnisse des Rückenmarkes erscheint schon zur Vermeidung von Missverständnissen nothwendig. Es haben sich nämlich viele Autoren der Worte Vorder- und Hinterstränge zur Bezeichnung der vorderen und hinteren Parthieen oder Hälften des Rückenmarkes bedient; wollen wir indess allgemein verständlich und genau sein, so müssen wir diese Worte in ihrem anatomischen Sinne gebrauchen. Einzelne Anatomen weichen zwar in Beziehung auf die Zahl der Stränge, die sie am Rückenmarke annehmen und in den Benennungen derselben etwas von einander ab; der am meisten verbreiteten Ansicht zu Folge werden indess an jeder Seitenhälfte des Rückenmarkes drei Hauptstränge: der Vorder-, Seiten- und Hinterstrang unterschieden, welche zusammen die weisse oder Marksubstanz des Rückenmarks darstellen. Diese sogenannten Stränge sind jedoch nicht scharf von einander abgegränzt. Es existirt am Rückenmarke nur eine hintere und vordere Spalte, die einzelnen Stränge der Seitenhälften sind dagegen nur durch Furchen angedeutet. Bei den Säugethieren befindet sich zwischen den Hinter- und Seitensträngen eine leicht wahrzunehmende Furche; weniger deutlich ist die Furche zwischen Vorder- und Seitensträngen. Im Inneren des Rückenmarkes werden die Stränge durch die graue Substanz begränzt. Das hintere Horn derselben bildet die Gränze zwischen den Hinter- und Seitensträngen. Das vordere Horn kann dagegen die Seiten- und Vorderstränge nicht von einander abgränzen, weil es sich nicht bis in die Nähe der

Oberfläche des Rückenmarks erstreckt. *Longet* [1]), *Sömmering* [2]) und Andere betrachten desshalb auch den Vorder- und Seitenstrang jeder Seite als zusammengehörige Rückenmarkstheile. *Longet* bezeichnet diese Theile als *faisceau antérolatéral.* In den meisten anatomischen Handbüchern werden die zwischen den Insertionen der Nervenwurzeln gelegenen Rückenmarksparthien als Seitenstränge aufgeführt. Diese Seitenstränge nehmen mehr als die Hälfte bis beinahe $^2/_3$ der Masse des Rückenmarks ein. — Am Rückenmarke des Frosches befindet sich ebenfalls eine hintere und vordere Spalte; Furchen, welche man als Gränze der einzelnen Stränge ansehen könnte, sind dagegen nicht wahrzunehmen. Den Benennungen bei den Säugethieren analog werden aber auch bei ihnen die vorderen zwischen den Insertionen der Nervenwurzeln der beiden Seiten gelegenen Parthien als Vorderstränge, die hinteren als Hinterstränge und die zwischen den Nervenwurzeln derselben Seite gelegenen Theile als Seitenstränge bezeichnet. In der Substanz des Rückenmarks lassen sich die Gränzen dieser Stränge nicht erkennen, weil die wahre Gränze der weissen und grauen Substanz überhaupt beim Frosch nicht mit blossem Auge wahrnehmbar ist. Betrachtet man aber die Durchschnittsfläche des Rückenmarkes bei guter Beleuchtung mit einer scharfen Loupe, so lässt sich die graue Substanz scharf und deutlich von der weissen abgegränzt erkennen. Es ergiebt sich bei dieser Betrachtung, dass die graue Substanz einen grösseren Theil der Durchschnittsfläche einnimmt, als dies bei der Besichtigung mit blossem Auge der Fall zu sein scheint, weil nur die dem Centralkanal zunächst gelegene Schichte intensiv dunkel gefärbt ist. Die graue Substanz ist indess nicht als kreisförmige Schichte um den Centralkanal gelagert, wie dies von *Volkmann* [3]) angegeben wird, sondern ihre Form ähnelt der bekannten Figur, die sie bei den Säugethieren hat. Es lassen sich an derselben zwei hintere, nur wenig spitz zulaufende und zwei vordere breitere, rundliche Hörner unterscheiden. — Die

---

1) Anat. et phys. d. syst. nerv. pag. 233.

2) Nervenlehre pag. 59.

3) a. a. O. pag 554.

graue Commissur ist verhältnissmässig weit breiter als bei höheren Thieren und die äussere Begränzungslinie der grauen Substanz auf beiden Seiten ist nur wenig nach Innen ausgeschweift, wodurch die Hörner weniger hervortreten, als dies bei den Säugethieren der Fall ist. Die Ausdehnung der grauen Substanz ist überhaupt relativ sehr gross. — Die Entfernung des rundlichen Endes der vorderen Hörner von der Vorderfläche des Rückenmarkes beträgt nur $^1/_5$ bis $^1/_6$ des Durchmessers des Rückenmarkes. — Die Gränze der grauen und weissen Substanz lässt sich noch deutlicher als am frischen Rückenmarke erkennen, wenn man feine Querschnitte von in chromsaurem Kali erhärtetem Rückenmarke bei einer schwachen Vergrösserung unter das Mikroskop bringt.

Diese Lagerungsverhältnisse der verschiedenen Theile des Rückenmarkes sind zur Beurtheilung der über ihre Function angestellten Versuche von grosser Wichtigkeit. Eine genauere anatomische Kenntniss des Rückenmarkes könnte uns sogar schon allein für sich directen Aufschluss über die verschiedene Leitung der einzelnen Theile desselben geben. — Wir haben als feste Basis unserer Untersuchungen das unumstössliche Factum, dass durch die vorderen Wurzeln nur motorische, durch die hinteren nur sensibele Nerven in das Rückenmark eintreten; wir wissen ferner, dass sich die Primitivcylinder der Nerven unmittelbar in die weisse Substanz des Rückenmarkes fortsetzen. Wäre uns das Verhalten der Nervenwurzeln zu den verschiedenen Strängen und der weitere Verlauf der Nerven innerhalb der Stränge bekannt, so könnte über die verschiedene Leitung derselben kein Zweifel bestehen. Durch die mikroskopische Untersuchung ist bis jetzt noch Nichts über die Vertheilung der Primitivcylinder der Nervenwurzeln in die Stränge festgestellt worden. Auch über die Verhältnisse, die sich mit unbewaffnetem Auge ermitteln lassen, haben nur wenige Anatomen Untersuchungen angestellt. *Grainger* [1]) giebt in Uebereinstimmung mit *Swan* an, dass alle Nervenwurzeln in die Seitenstränge eintreten. Er führt es als einen Umstand an, der gegen die Gültigkeit des *Bell*'schen Satzes für die

1) Observation on the structur and functions of the spinal cord. Lond. 1837. pag. 30.

Vorder- und Hinterstränge spreche, dass er bei der grössten Sorgfalt nie Nervenfasern in die Hinter- oder Vorderstränge verfolgen konnte. — Ich glaube darthun zu können, dass sich von dieser Seite aus kein gegründeter Einwand gegen jenen Lehrsatz machen lässt. Bei der Untersuchung des Rückenmarkes verschiedener Hausthiere sah ich öfters, (z. B. an der oberen Anschwellung des Rückenmarks beim Kalbe), nachdem ich ausser der Entfernung der *dura mater* und *arachnoidea* keine weitere Präparation vorgenommen hatte, einzelne Nervenbündel der hinteren Wurzeln in einiger Entfernung (bis auf $^1/_4$''') von der Furche, welche sich zwischen Hinter- und Seitensträngen befindet, in die ersteren eintreten. Nach dieser einfachen Ansicht der Theile treten ganz deutlich einzelne Nervenbündel der hinteren Wurzeln in die Hinterstränge ein; man müsste denn zu der unwahrscheinlichen Annahme seine Zuflucht nehmen, dass diese Nervenfasern, sobald sie durch die *pia mater* getreten wären, eine ihrem bisherigen Verlaufe gerade entgegengesetzte Richtung annähmen, und eine grössere Strecke weit zwischen der *pia mater* und den Hintersträngen verliefen, um sich dann in die Seitenstränge einzusenken. Mit diesen wenigen Ausnahmen inseriren sich indess alle Nervenbündel der hinteren Wurzeln gerade in die hintere, seitliche Furche. An den Rückenmarken, welche ich zu untersuchen Gelegenheit hatte, sah ich nie Nervenbündel in einiger Entfernung von dieser Furche in die Seitenstränge eintreten. An den vorderen Nervenwurzeln tritt ebenfalls bei weitem die grösste Mehrzahl der Nervenbündel gerade in die vordere seitliche Furche ein; man sieht indess hier noch häufiger, wie hinten, einzelne Nervenbündel neben der Furche unmittelbar in die Rückenmarksstränge eintreten. Es treten ganz deutlich einzelne Nervenbündel in einiger Entfernung von der vorderen seitlichen Furche, die allerdings oft nur sehr schwach angedeutet ist, in die Vorderstränge ein, und auf der anderen Seite der Furche sieht man ebenfalls und zwar in verschiedener Entfernung bis zu $^3/_4$''' von derselben Nervenbündel in die Seitenstränge inseriren. — Wie sich die Nervenfasern der hinteren und vorderen Wurzeln, die gerade in die betreffenden Furchen inseriren, nach ihrem Eintritt in die Furche zu den Rückenmarkssträngen verhalten, ist höchst schwierig zu bestimmen, weil die einzelnen Nervenbündel nach

ihrem Durchtritt durch die *pia mater* so überaus zart und leicht zerreissbar sind, dass sie nicht weiter verfolgt werden können. Dass *Grainger* zu seiner oben angegebenen Ansicht gelangte, scheint mir aus der von ihm angewandten Untersuchungsmethode [1]) erklärlich. Er durchschneidet nämlich die *pia mater* neben der Medianspalte, hebt sie dann vorsichtig bis zur seitlichen Furche von der Oberfläche des Rückenmarkes ab und dringt dann in die Furche ein. Verfährt man so, so scheinen allerdings alle Nervenwurzeln in die Seitenstränge zu inseriren. Durchschneidet man dagegen die *pia mater* am Seitenstrange und dringt von dieser aus in die seitliche Furche, so scheinen die Nervenwurzeln in die Hinterstränge zu inseriren. — Ueber den weiteren Verlauf der Nervenfasern innerhalb der Rückenmarksstränge wissen wir ebenfalls nichts Genaues. Mit Sicherheit lässt sich allein nur angeben, dass die Faserzüge im Allgemeinen einen longitudinalen Verlauf haben. *Volkmann* [2]) hebt mit Recht hervor, dass vielleicht noch kein Beobachter eine einzelne Nervenfaser auch nur $^1/_4$ Linie weit in das Rückenmark verfolgt hat. *Stilling* und *Wallach* [3]) haben zwar das Verhalten der Nervenfasern nach ihrem Eintritt in das Rückenmark beschrieben; bei genauerer Prüfung ihrer Untersuchungen [4]) hat sich jedoch ergeben, dass sie an Präparaten angestellt sind, welche so bedeutende Veränderungen erlitten haben, dass die einzelnen Nervenprimitivcylinder nicht mehr zu erkennen sind. Die erhaltenen Resultate lassen desshalb keine Schlüsse zu.

Wenn wir aber auch bis jezt durch die Histologie noch keinen direkten Aufschluss über die Leitung im Rückenmarke erhalten können, so sind doch alle histologischen Facta, welche sich eruiren lassen von grosser Bedeutung für die Erklärung der Phä-

---

1) a. a. O. pag. 37. Not.

2) a. a. O. pag. 511.

3) Untersuchungen über die Textur des Rückenmarkes, Leipzig 1842.

4) Adnotationes de structura medullae spinalis a Stilling descripta criticae. Diss. inaug. scrips. Carolus Biel. Marburgi.

nomene, welche wir bei Experimenten eintreten sehen. — So ist es n Bezug auf eine Reihe von Experimenten mit Durchschneidung er beiden Seitenhälften des Rückenmarks von der grössten Vichtigkeit, ob Nervenfasern aus der einen Seitenhälfte in die ndere übertreten, oder ob alle von ihrem Eintritt in das Rücken- nark bis zur Medulla oblongata in derselben Seitenhälfte ver- leiben. Ich habe desshalb über das anatomische Verhalten und ie Structur der *Commissur des Rückenmarks*, welche die eiden Seitenhälften des Rückenmarkes verbindet, Untersuchun- en angestellt. — Die Mehrzahl der Anatomen stimmt überein, ass ausser der grauen Substanz nur die Vorderstränge durch ne Commissur verbunden sind. Von *Krause* [1]) und *Meckel* [2]) ird dagegen angegeben, dass auch eine hintere weisse Commissur estehe. Ich habe das Verhalten der Commissuren bei verschie- enen Hausthieren untersucht; bei keinem derselben existirt eine eisse hintere Commissur. Die hintere Spalte erstreckt sich un- ittelbar bis zur grauen Commissur. Das Rückenmark des Ham- els ist besonders dazu geeignet, um sich zu überzeugen, dass ine hintere weisse Commissur besteht. Auf dem Boden der hin- ren Spalte, die sich glattwandig öffnet, sobald man die pia ater entfernt, lässt sich sogleich die graue Substanz als dunk- r Streifen erkennen. Dringt man dagegen in die vordere Spalte n, so bemerkt man bald, dass hier eine andere Anordnung be- eht. Auf dem Grund der Spalte ist kein dunkler Streifen zu merken, sondern es findet sich eine Schichte weisser Substanz, e erst eingerissen werden muss, bis man die graue Substanz m Vorschein kommen sieht. — Über die Structur dieser vorderen eissen Commissur existiren verschiedene Angaben. Nach dem An- hein der Richtung der Faserung, die sich mit blossem Auge hrnehmen lässt, hat sich *Sömmering* [3]) und *Cuvier* [4]) für

---

1) Handbuch der menschl. Anatomie pag. 982.

2) Handbuch der menschl. Anat. Bd. 3. pag. 440.

3) De corporis humani fabrica. T. IV. p. 78. Traject. ad Moen. 1798.

4) Leçons d'anat. comp. T. II. pag. 188.

eine Kreuzung der Fasern ausgesprochen. *Krause* giebt an, dass sie aus unregelmässig gezackten Bündeln bestehe, welche von der rechten und linken Seite schräg gekreuzt ineinandergreifen. — *Grainger* [1]) hält dagegen diese Schichte weisser Substanz für keine wahre Commissur. — Nur das Mikroskop kann hierüber bestimmten Aufschluss geben. Am frischen Rückenmarke ist es schwierig ein Stückchen dieser vorderen Commissur unter das Mikroskop zu bringen, das dünn genug ist, um seine Structur noch erkennen zu lassen. Durch die Erhärtung des Rückenmarkes in einer Auflösung von chromsaurem Kali, wird die Untersuchung dieser Theile sehr erleichtert. Es lassen sich dann dünne Quer- und Längenschnitte erhalten, die ohne oder bei nur mässiger Compression unter dem Mikroskop betrachtet werden können. Die Elementartheile zeigen sich an diesen Schnitten vollkommen unverändert erhalten; man kann die einzelnen Primitivcylinder an ihnen vollkommen scharf und deutlich erkennen. Die beiden Substanzen sind verschieden gefärbt, so dass sie sich leicht und deutlich unterscheiden lassen. Die weisse Substanz erscheint an Querschnitten bei durchfallendem Lichte dunkel, an Längenschnitten graulich. Die körnige Substanz ist gelb gefärbt. Ich habe das in chromsaurem Kali erhärtete Rückenmark vom Kalb, Ochsen [2])

---

1) a. a. O. pag. 31. —

2) *Arnold's* Behauptung (Bemerkungen über den Bau des Hirns und Rückenmarks. Zürich 1838, pag. 3 ffg.), dass beim Ochsen, wie überhaupt bei erwachsenen Säugethieren keine hintere Spalte existire, da sie sich am frischen Rückenmarke nicht nachweisen lasse, ist offenbar unrichtig. *Arnold* nimmt nur eine *hintere Medianfurche* an und erklärt die durch Präparation dargestellte *hintere Spalte* für ein Kunstproduct. Bei dem Ochsen gelingt es allerdings nicht leicht, sich bei der gewöhnlichen Präparation von der hinteren Fläche des Rückenmarkes aus von dem Vorhandensein einer hinteren Spalte und der ganz glatten Abgränzung der hinteren Stränge gegeneinander in derselben zu überzeugen. Allein bei anderen Thieren, ganz vorzüglich beim Hammel, kann man diese Ueberzeugung selbst auf diese Weise leicht erhalten. Wenn man zu beiden Seiten an der hinteren Spalte die pia mater auf der hinteren Fläche des Rückenmarks der Länge nach durchschneidet und dieselbe alsdann unter Wasser vorsichtig gegen die hintere Spalte von dem Rückenmarke ab-

und Hammel untersucht. Die durch die anatomische Untersuchung des frischen Rückenmarks gewonnene Überzeugung über das Verhalten der Commissuren und der beiden Spalten erhielt hierdurch ihre vollständige Bestätigung. —

An einem hinlänglich dünnen Querschnitte bemerkt man, ohne Compression angewendet zu haben, die sich bis zur grauen Commissur erstreckende hintere Spalte, während man an dem Boden der vorderen Spalte deutlich die weisse Commissur erkennen kann, die sich scharf und bestimmt von der grauen Commissur abgränzt. Die Gränze zwischen den beiden Commissuren wird durch eine krumme Linie gebildet. Es befindet sich nämlich an der weissen Commissur auf beiden Seiten eine rundliche Hervorragung, die sich in die graue Substanz hinein erstrekt. — Wird nach und nach eine mässige Compression angewendet, so weichen die Fasern der vorderen Commissur constant in der Art auseinander, dass sich jene beiden Hervorragungen als rundliche, dunkle Parthien von der übrigen dunkel erscheinenden weissen Substanz abtrennen. In dem hellen Zwischenraum, der durch dieses Auseinandertreten gebildet wird, lassen sich transversal verlaufende, sich kreuzende Nervenprimitivcylinder erkennen. Diese Primitivcylinder lassen sich längere Strecken weit in ihrem Verlaufe verfolgen; ein Umstand, der den Verdacht beseitigen muss, der hier ob-

---

präparirt, so überzeugt man sich ganz unzweifelhaft nicht nur, dass eine hintere Spalte mit ganz glatten Wandungen besteht, sondern dass sich auch eine Fortsetzung der pia mater und mit ihr zahlreiche und nicht unbedeutende Blutgefässe in diese Spalte hineinziehen. Bei anderen Thieren und ebenso beim Ochsen ist diese Falte der pia mater nicht so vollkommen entwickelt, sondern es senken sich nur einzelne Gefässe in lineären Reihen an der Stelle dieser Falte in die hintere Spalte hinein, und da sie rechts und links in derselben ihre Aeste abgeben und in die Hinterstränge hineinsenden, so ist es nicht leicht diese Hinterstränge in der Spalte voneinander zu trennen. Allein auf feinen Quer- und Längendurchschnitten sowohl frischer, als auch in chromsaurem Kali erhärteter Rückenmarke des Ochsen und aller übrigen Thiere überzeugt man sich bei Betrachtung mit der Loupe und dem Mikroskop auf das Zuverlässigste von dem Vorhandensein dieser Spalte und davon, dass in ihr keine Nervenfaser von der einen nach der anderen Seite herübergeht.

schwehen könnte, dass diese transversalen Nervenfasern, ursprünglich longitudinal verlaufende Fasersegmente seien, die durch Compression in eine horizontale Lage gequetscht worden wären. — Wird die Compression weiter fortgesetzt, so drängt sich immer mehr körnige Substanz in den hellen Zwischenraum (welcher durch das Auseinandertreten der dunkelen Parthien der weissen Substanz gebildet wird) bis zur vorderen Spalte. War das Präparat nicht dünn genug, so wird es erst dann durchsichtig, wenn die Compression bereits diese Veränderungen hervorgebracht hat. Man kann dann leicht zu der Ansicht verleitet werden, dass keine weisse Commissur bestehe. — Diesem Stadium der Compression entsprechen offenbar die Abbildungen, welche *Stilling* und *Wallach* [1]) von Querdurchschnitten von in Weingeist erhärtetem Rückenmark geliefert haben.

Ganz in Übereinstimmung mit den oben beschriebenen, an Querdurchschnitten wahrzunehmenden Structurverhältnissen stehen die Ansichten, welche Längsdurchschnitte darbieten. — Um in der Substanz des Rückenmarkes den Centralcanal leicht kenntlich zu machen, wird ein Haar in denselben eingeführt. Hierauf wird das zu untersuchende Stück Rückenmark durch einen nahe hinter dem Centralcanal ausgeführten Längsschnitt in eine vordere und hintere Hälfte getrennt. Trägt man dann mit einem scharfen Rasirmesser von den beiden Schnittflächen dünne Schichten ab, so erhält man, je nach dem der Schnitt näher oder entfernter vom Centralcanal gefallen ist, von der einen oder der anderen Schnittfläche diejenige Schichte Nervensubstanz, welche die dem Centralcanal zunächst gelegenen Theile der Hinterstränge enthält. Unter dem Mikroskop sieht man in der Mitte dieses Stückes die longitudinal verlaufenden Nervenfasern der beiden Hinterstränge, zu beiden Seiten derselben sieht man die graue Substanz. — Auch bei starker Compression sind zwischen den beiden Hintersträngen keine transversalen Fasern zu bemerken. — Trägt man die zunächst vor dieser Schichte gelegenen Theile in dünnen Lamellen ab, so erhält man Längsdurchschnitte der grauen Commissur. Je nach ihrer verschiedenen Dicke können entweder einige dieser Lamellen einen Theil des geöffneten Centralcanals enthalten, oder

1) Textur der medulla oblong. Atlas. Tab. I. II.

der ganze Centralcanal kann ungeöffnet in einer Schichte grauer Substanz erhalten werden. — Fährt man noch weiter fort dünne Lamellen abzutragen, so erhält man die bereits beschriebene Hervorragung der vorderen Commissur im Längendurchschnitt zur Ansicht. In der Mitte des abgetragenen Stückes erblickt man graue Substanz zwischen zwei Bündeln von longitudinal verlaufenden Nervenfasern, zu deren beiden Seiten ebenfalls graue Substanz zu sehen ist. — In den nächstfolgenden Lamellen, die abgetragen werden, sieht man in der Mitte die transversal verlaufenden Nervenprimitivcylinder der vorderen weissen Commissur, die sich in schräger Richtung zwischen zwei Bündeln longitudinal verlaufender Nervenfasern kreuzen. —

Doch auch am frischen Rückenmarke lassen sich die Structurverhältnisse der vorderen Commissur zur Anschauung bringen. Um ein Stückchen von hinlänglicher Dünne zu erhalten, verfährt man am Besten folgender Maassen. In den Centralcanal des zu untersuchenden Rückenmarkstückes wird ein Haar eingeführt, (was freilich nicht selten misslingt, indem das Haar in die Nervensubstanz eindringt und einen falschen Weg einschlägt); hierauf wird mit einem scharfen Rasirmesser unmittelbar vor dem Centralcanal ein Längsschnitt ausgeführt, der das Stück in eine vordere und hintere Hälfte theilt. Durch einen solchen Schnitt gelingt es in vielen Fällen, dass der Centralcanal wenigstens an einer Stelle von einer Schichte Nervensubstanz bedeckt bleibt, die dünn genug ist, um ohne alle oder bei nur mässiger Compression betrachtet zu werden. Diese dünne Schichte wird mit einer feinen Scheerenpincette hinweggenommen, welche man unmittelbar unter dem Haare herführt, so dass der Schnitt in gleichem Niveau mit dem Centralcanal fällt und denselben öffnet. — Unter dem Mikroskop sieht man dann die beiden Bündel longitudinaler Fasern, zwischen welchen die transversalen Nervenfasern der vorderen Commissur zu sehen sind. —

Nach diesen Ansichten lässt es sich nicht bezweifeln, dass *in der vorderen Commissur des Rückenmarkes eine Faserkreuzung besteht.*

Eine solche Faserkreuzung kann möglicher Weise auch in der grauen Commissur stattfinden, da die graue Substanz ausser der eigentlich grauen, körnigen Substanz (Ganglienkugeln) auch

Nervenfasern enthält. — Bringt man graue Substanz von der Durchschnittsfläche eines frischen Rückenmarkes unter das Mikroskop, so findet man stets Nervenfasern in derselben, wenn man auch mit der grössten Vorsicht jede Beimischung von weisser Substanz vermeidet. Man sieht dass die Nervenfasern in die körnige Substanz eingebettet sind und sie in verschiedener Richtung durchziehen. — An den Längs- und Querschnitten von in chromsaurem Kali erhärtetem Rückenmarke sieht man deutlich, dass die ganze graue Substanz von Nervenfasern durchzogen wird. Nur in einer kreisförmigen Schichte um den Centralcanal herum sind keine Nervenfasern wahrzunehmen. — Durch verschiedene Ansichten von Längs- und Querschnitten ist es mir nicht unwahrscheinlich, dass auch in der grauen Commissur transversale Fasern verlaufen. Da es mir jedoch nicht gelingen konnte, einzelne Nervenprimitivcylinder eine grössere Strecke weit in ihrem Verlaufe zu verfolgen, so wage ich nicht, mich bestimmter hierüber auszusprechen. —

Das erhaltene anatomische Factum der Faserkreuzung in der vorderen Commissur könnte vielleicht als ein Widerspruch gegen die Erfahrung betrachtet werden, dass bei einseitigen Hirnleiden vollständige Hemiplegie besteht, dass die Lähmung einzig und allein auf eine Seite beschränkt bleiben kann. Von einem solchen Widerspruch könnte indess nur dann die Rede sein, wenn man anzunehmen genöthigt wäre, dass alle aus dem Rückenmarke in die *medulla oblongata* eintretenden Fasern, sich in dieser oder in dem *pons* kreuzten. In diesem Falle würden allerdings die Fasern, die sich bereits im Rückenmark gekreuzt haben, wiederum auf die Seite ihrer peripherischen Ausbreitung zurücktreten. Ein einseitiges Hirnleiden würde dann auch gleichseitige Theile am Stamm und den Extremitäten lähmen müssen. Allein nach anatomischen Untersuchungen [1]) der *medulla oblongata* und des *pons* scheint ein kleiner Theil der motorischen Fasern des Rückenmarkes an dieser Stelle keine Kreuzung einzugehen. Es sind dies die Fasern der inneren Hülsenstränge. Diese Hülsenstränge sind die inneren der Medianspalte zunächst liegenden Parthien der Vordersträngen. Es ist demnach möglich, dass diese Stränge die

1) Longet a. a. O. Tom. 1, pag. 303.

Fasern enthalten, die sich bereits in der vorderen Commissur des Rückenmarks gekreuzt haben.

Jedenfalls ist es gewiss, dass diese Faserkreuzung in der vorderen Commissur von einer, im Verhältniss zu der Menge der in diesem Organe enthaltenen Fasern, nur sehr geringen Anzahl von Fasern eingegangen wird.

## *Zweites Capitel.*

## Physiologische Versuche.

Bevor ich zu der Beschreibung der von mir angestellten Experimente übergehe muss ich darauf aufmerksam machen, dass ich die Leitung in den Vorder- und Hintersträngen anders aufgefasst habe als dies von den meisten Autoren geschehen ist. Alle älteren und mehrere der neueren Autoren suchten bei ihren Untersuchungen über die Leitung der Vorder- und Hinterstränge nur die Leitung in den vorderen und hinteren *Parthien* des Rückenmarks zu erforschen, ohne Berücksichtigung des Unterschieds der weissen und grauen Substanz. — *Van Deen* hat in seiner ersten Abhandlung [1]) die Frage ebenso behandelt, in seiner zweiten [2]) sucht er den Unterschied der Leitung der grauen und weissen Substanz festzustellen, begreift aber immer noch die vordere und hintere Hälfte des Rückenmarkes unter dem Namen der Vorder- und Hinterstränge und spricht von der weissen und grauen Substanz derselben. — *Stilling* versteht mit Recht unter Vorder- und Hintersträngen nur weisse Substanz; bei der Beschreibnug der Versuche an Fröschen begreift er aber offenbar unter hinterer und vorderer weisser Substanz nicht nur die der eigentlichen Hinter- und Vorderstränge, sondern auch die entsprechenden Parthien der Seitenstränge. — Diese verschiedene Bedeutung, in welcher

1) Traités et decouv. Premier traité. — Tijdschrift voor natuurlyke geschiedenis en physiologie. t. V. 3., pag. 151. 1838.

2) a. a. O. t. VII. 1839. Trait. et decouv. Deuxième traité.

*van Deen* und *Stilling* die Worte Vorder- und Hinterstränge gebrauchen, hat bei der von *Stilling* vorgenommenen Wiederholung der Versuche *van Deen's* öfters zu Missverständnissen Veranlassung gegeben. Ich spreche dagegen von Vorder- und Hintersträngen immer nur im anatomischen Sinne des Wortes, und da sie mit den Seitensträngen zusammen die weisse Substanz darstellen, so werde ich zuerst von der *weissen Substanz* im Allgemeinen, dann über die centripetale und centrifugale Leitung der *Stränge* derselben sprechen und erst als zweiten Abschnitt die Leitung in der *grauen Substanz* abhandeln.

## I. Ueber die Leitung in der weissen Substanz.

### 1. Ueber die Leitungsfähigkeit der weissen Substanz im Allgemeinen.

Ich halte es fast für überflüssig, dass durch experimentelle Beweise die Leitungsfähigkeit der weissen Substanz dargethan werde. Die mikroskopischen Untersuchungen zeigen, dass diese Substanz aus Nervenprimitivcylindern besteht. *Valentin* und Andere haben dargethan, dass sie die unmittelbaren Fortsetzungen der Primitivcylinder der aus- und eintretenden Nervenwurzeln enthält. Nach allen bekannten physiologischen Thatsachen müssen wir annehmen, dass sie sowohl unmittelbar in Erregung versetzt werden kann, als auch mittelbar durch die Actionen der Nerven und dass sie ihre Erregungszustände in der Richtung der in ihr verlaufenden Nervenfasern fortleitet. Dies wird auch durch die directe Reizung der weissen Rückenmarksstränge vollkommen bestätigt. Demungeachtet wurde in neuerer Zeit von *van Deen* [1]) geläugnet, dass das Rückenmark überhaupt durch direct auf es applicirte Reize in Erregung versetzt werden könne. Er glaubt, dass das Rückenmark nur mittelbar durch die Actionen der Nerven oder des Gehirns in Erregung versetzt werden könne. So

1) *Froriep* N. Notiz. 1843. pag. 323.

verstehe ich wenigstens seine Behauptung, dass das Rückenmark nur „eine Leiter für organische nicht für mechanische Reize sei". — *Van Deen* glaubt sogar sich überzeugt zu haben, dass kein Theil des Rückenmarks das geringste Gefühl besitze. Die Schmerzensäusserungen welche das Thier bei Berührung gewisser Theile von sich giebt, erklärt er „durch den mechanischen Reiz, der durch Erschütterung oder Druck sich zu den empfindlichen Theilen des Gehirns ausbreitet." Wie *van Deen* zu dieser sonderbaren und ausserdem höchst undeutlich ausgedrückten Ansicht gelangte, wird nur dadurch einiger Maassen weniger unbegreiflich, dass er nur an Fröschen experimentirte. Das wichtigste Experiment, worauf er seine Ansicht stützt, besteht nämlich darin, dass bei einem Frosche, dem man die Wirbelsäule von hinten geöffnet hat, der untere Theil des Rückenmarks, nach der Durchschneidung der Nerven des Bauchs und der hinteren Extremitäten, aus dem Wirbelcanal hervorgehoben, auf ein Glasplättchen oder Papier gelegt und mit einer scharfen Scheere durchschnitten wird. Eine solche Durchschneidung lässt sich allerdings vornehmen, ohne dass das Thier Bewegungen mit den vorderen Körpertheilen als Symptome von etwa erregten Schmerzen macht. Es ist dies indess nach der Zerrung, welche das Rückenmark auch bei der grössten Vorsicht bei dem Herausheben aus dem Wirbelcanal und durch die Durchschneidung der Nervenwurzeln nothwendig erleiden muss, nicht zu verwundern. Da ausserdem die Reizbarkeit des Rückenmarkes bekanntlich früher und schneller als die der Nerven erlischt, so ist es begreiflich, dass ein zumal senkrecht auf die Nervensubstanz wirkender mechanischer Reiz keine Reaction mehr hervorruft. Durch einen schwachen galvanischen Strom aber, den man durch das Rückenmark leitet, lassen sich noch heftige Bewegungen der vorderen Körpertheile hervorbringen. Diese verschiedene Empfänglichkeit für verschiedene Reize stimmt ganz mit den an den Nerven gemachten Beobachtungen überein. Senkrechte Durchschneidung eines Nerven bringt weit schwieriger Reaction hervor, als andere Reize, wie Electricität oder Quetschung. — Ich glaube also diese Zweifel *van Deen's* auf sich beruhen lassen zu können. —

Die eigentlich zu besprechende Streitfrage in Beziehung auf die Leitungsfähigkeit der weissen Substanz ist nur die, ob sie *für*

*sich allein* ohne die graue Substanz ihre Erregungszustände weiter zu leiten vermag? —

Um diese Frage zu beantworten hat man die Durchschneidung oder Abtragung des Rückenmarkes bis auf eine nur aus weisser Substanz bestehende Schichte vorgenommen.

*Van Deen* hat solche Versuche an Fröschen ausgeführt. Er giebt an, dass nach der Durchschneidung des Rückenmarkes bis auf eine Schichte der vorderen weissen Substanz noch einige Bewegung und nach Durchschneidung derselben bis auf die hintere weisse Substanz noch einige Empfindung fortbestanden habe. [1]) Auch nach der Abtragung des Rückenmarkes in der Ausdehnung von einer Linie bis auf die vordere weisse Substanz sah er noch willkührliche Bewegung in den hinteren Extremitäten fortbestehen. [2]) — Wurde dagegen das Rückenmark vom dritten Wirbel an bis zum Ende bis auf die vordere oder hintere weisse Substanz abgetragen, so war Bewegung und Empfindung erloschen. [3]) —

*Stilling* [4]) sah nicht allein bei der Abtragung in dieser Ausdehnung ein vollständiges Erlöschen der willkührlichen Bewegung und Empfindung, sondern auch bei der Abtragung in der Ausdehnung einer Linie und selbst bei der einfachen Durchschneidung des Rückenmarkes bis auf eine Schichte weisser Substanz. Letzteren Versuch hat er sowohl an Fröschen, als auch an Säugethieren ausgeführt. [5]) *Volkmann* [6]) hat bei einem im Winterschlafe liegenden Igel die Abtragung eines 3‴ langen Stückes der Rückenmarkssubstanz bis auf eine aus einem Theil der Vorderstränge bestehende Schichte weisser Substanz am Halsmarke vorgenommen und hierauf einen galvanischen Strom durch die *medulla oblongata* geleitet, der Bewegungen in den Muskeln der Schultergegend, des Rumpfes und der hinteren Extremitäten hervorrief. *Valentin* schlug bei seinen Versuchen einen anderen Weg ein,

1) a. a. O. Deuxième traité Exp. XXX. XXXI. et L.

2) a. a. O. Exp. XXIX.

3) a. a. O. Exp. XLVIII. et XLIX.

4) Unters. Versuch XLVIII, XLIX, XXIX, XXX, XXI und L.

5) Ros. und Wund. Arch. pag. 116 und 120.

6) Nervenphys in *R. Wagner's* Handwörterb. der Physiol. pag. 552.

um die graue Substanz ausser Wirksamkeit zu setzen. Er führte bei einem Frosche, nach Eröffnung der Wirbelsäule von hinten, durch die eine Seitenhälfte des unteren Stückes des Rückenmarkes einen Längsschnitt in der Nähe der Nervenwurzeln der hinteren Extremitäten aus, wodurch letztere gelähmt wurden. Wurde dagegen der Schnitt zunächst der Mittellinie des Rückenmarkes ausgeführt, so dass noch ein grosser Theil der grauen Substanz mit der weissen in Verbindung blieb, so war die willkührliche Bewegung ungestört [1]).

Um ein richtiges Urtheil über die zur Erforschung der erwähnten Frage angestellten Experimente zu gewinnen, müssen die Structurverhältnisse in Betracht gezogen werden. — Es ist constatirt, dass die graue Substanz von Nervenfasern durchzogen ist. An dünnen Längs- und Querschnitten von in chromsaurem Kali erhärtetem Rückenmark habe ich mehrmals mich zu überzeugen die Gelegenheit gehabt, dass Nervenfasern aus der weissen Substanz in die graue übertreten. Dass einzelne Nervenprimitivcylinder mit den Ganglienkugeln des Rückenmarkes in directer Verbindung stehen, ist bereits von Mehreren gesehen worden. Es ist leicht möglich, dass alle Nervenfasern eine kurze Strecke weit durch die graue Substanz verlaufen; wir müssen wenigstens annehmen, dass jede Nervenfaser an irgend einer Stelle mit der grauen Substanz in Berührung treten muss, wenn wir nicht ein eigenes excitomotorisches Nervensystem annehmen wollen. — Behält man diese Verhältnisse im Auge, so kann es nicht befremden, dass die gänzliche Abtragung der grauen Substanz oder die vollständige Trennung derselben von der weissen durch einen Längsschnitt die Leitungsfähigkeit in dieser aufhebt. Denn es ist höchst wahrscheinlich; dass dabei auch die Fasern der weissen Substanz an irgend einer Stelle ihres Verlaufes durch die graue durchschnitten und desshalb ihrer Leitungsfähigkeit beraubt werden. Ausserdem sind aber auch alle Versuche, bei welchen das Rückenmark bis auf eine aus der vorderen oder hinteren weissen Substanz bestehende Schichte abgetragen und durchschnitten wird, oder die Seitenstränge, wie bei *Valentin*, mit den an ihnen sitzenden Wurzeln abgetrennt werden, schon an sich unsicher. Denn

1) De funct. nerv. pag. 99. 25.

die Beeinträchtigung, die der zurückbleibende Theil des Rückenmarkes durch diese Operationen, mögen sie auch mit der grössten Geschicklichkeit ausgeführt werden, erleiden muss, kann allein schon zur Erklärung der aufgehobenen Leitungsfähigkeit genügen.

Die Versuche mit Abtragung eines Rückenmarkstückes sind besonders an Fröschen unsicher, weil die weisse Substanz bei diesen Thieren einen zu geringen Durchmesser hat. Hierzu kommt noch der Missstand, dass die eigentliche Gränze der weissen und grauen Substanz beim Frosch mit unbewaffnetem Auge nicht zu erkennen ist. (Siehe pag. 9.)

Die widersprechenden Resultate, die *van Deen* und *Stilling* erhielten, sind demnach leicht erklärlich und bei der Ungenauigkeit dieser Versuche überhaupt kann weder auf das eine noch das andere Resultat Gewicht gelegt werden. — Bei Säugethieren lässt sich die Abtragung bis auf eine aus weisser Substanz bestehende Schichte bei den grösseren Dimensionen des Rückenmarkes mit mehr Genauigkeit ausführen. Die Durchmesser der weissen Substanz und ganz besonders die Entfernung des vorderen Horns der grauen Substanz von der Oberfläche des Rückenmarkes ist bei den Säugethieren nicht nur absolut, sondern auch relativ grösser als bei Fröschen. Desshalb verdient *Volkmann's* Versuch, dem zu Folge die weisse Substanz nach Abtragung der grauen, in beschränkter Ausdehnung, noch leitungsfähig ist, noch am ersten Vertrauen. —

Ich habe Versuche auf dem Wege der Durchschneidung an Fröschen angestellt, indem ich das Rückenmark von hinten tief einschnitt, und jedesmal nach der Tödtung des Thieres eine genaue anatomische Untersuchung des Rückenmarkes vorgenommen. Mehrmals habe ich dabei nur eine sehr dünne Schichte undurchschnittener Substanz bei Thieren vorgefunden, welche nach der Ausführung dieser Operation am 3ten Wirbel die hinteren Extremitäten noch willkührlich bewegt hatten. Demungeachtet führe ich dieses Resultat, bei der Unsicherheit solcher Versuche überhaupt, nicht als Beweis an. — Jedenfalls kann es bei allen diesen Versuchen immer nur versucht werden, eine durch die Vorderstränge gebildete Schichte weisser Substanz zu erhalten, denn an den Hintersträngen ist eine solche isolirte Erhaltung weisser Substanz gar nicht ausführbar, weil die hinteren Hörner der

grauen Substanz sich fast bis zur Oberfläche des Rückenmarkes erstrecken. —

Aus Allem dem ergiebt sich, dass die Versuche, auf welche sich die Behauptung basirt, dass die weisse Substanz an und für sich ohne die graue nicht leitungsfähig sei, höchst unsicher und durchaus nichtssagend sind, weil die aufgehobene Leitungsfähigkeit der weissen Substanz in der durch den operativen Eingriff erlittenen Beeinträchtigung und in der Durchschneidung ihrer in die graue Substanz eintretenden Elementartheile eine hinlängliche Erklärung findet. Auf die Structur der weissen Substanz gestützt lässt sich dagegen mit Bestimmtheit annehmen, dass die dieselbe bildenden Nervenprimitivcylinder an und für sich ohne die graue Substanz leitungsfähig sind. —

## 2. Ueber die verschiedene Leitung der Stränge der weissen Substanz.

Um die Leitung der verschiedenen Stränge zu erforschen, hat man dieselben Versuchsmethoden angewendet, durch welche die Leitung der Nervenwurzeln erforscht wurde.

Man hat Theile des Rückenmarks durchschnitten, um aus dem Fortbestehen oder Verschwinden des Gefühls oder der Bewegung auf den Gang der Leitung in den undurchschnittenen Theilen zu schliessen. Man hat ferner die direkte Reizung der Stränge an ihrer äusseren Oberfläche oder auf der Durchschnittsfläche des Rückenmarks vorgenommen. Bei beiden Versuchsmethoden treten bedeutende Schwierigkeiten ein, die bei der Anwendung derselben an den Nervenwurzeln nicht stattfinden. Diese Schwierigkeiten sind in der Conformation des Rückenmarkes begründet. Der Umstand, dass die verschiedenen Stränge nicht scharf von einander abgegränzt sind, und die Lagerungsverhältnisse der weissen und grauen Substanz machen viele Versuche ungenau und andere geradezu unmöglich.

### *A. Experimente auf dem Wege der Untersuchungsmethode der Durchschneidung.*

Diese Untersuchungsmethode würde nur dann zu einem bestimmten Resultate führen können, wenn eine isolirte Durch-

schneidung der Vorder- oder Hinterstränge, oder eine Durchschneidung aller übrigen Theile des Rückenmarks mit vollständiger Erhaltung des einen oder andern dieser Stränge möglich wäre. — *Stilling* [1]) will diese Operationen wirklich ausgeführt haben. Bedenkt man aber, dass die Stränge sowohl bei Fröschen als bei Säugethieren zwischen die Hörner der grauen Substanz eindringen, so springt die Unmöglichkeit der Ausführung einer solchen Operation in die Augen. Der zu diesem Zweeke ausgeführte Schnitt muss entweder einen grossen Theil der Vorder- oder Hinterstränge undurchschnitten lassen, oder zugleich einen Theil der grauen Substanz und der Seitenstränge treffen. Eine Durchschneidung aller Theile des Rückenmarks mit vollständiger Erhaltung der Vorder- oder Hinterstränge ist ebenfalls unmöglich. Es kann nur die Rede davon sein, zu versuchen, eine aus den Vordersträngen bestehende Schichte Nervensubstanz zu erhalten. Ich habe diesen Versuch bereits oben (pag. 24.) besprochen.

Eine grosse Zahl von Experimentatoren hat die hintere oder vordere Hälfte des Rückenmarkes durchschnitten. Von den Neueren ist diese Untersuchungsmethode besonders von *van Deen* und *Stilling* angewendet worden. Beide durchschnitten die hintere oder vordere Hälfte des Rückenmarkes, *van Deen* nur an Fröschen, *Stilling* an Fröschen und an Säugethieren. Letzterer [2]) sah nach Durchschneidung der hinteren Hälfte die Empfindung aufgehoben und die Bewegung fortbestehen. Das Umgekehrte war nach der Durchschneidung der vorderen Hälfte der Fall. Dieselbe Beobachtung hatte *van Deen* gemacht [3]), später [4]) indess nahm er seine frühere Behauptung in Bezug auf die hintere Hälfte des Rückenmarks als eine Täuschung zurück. Er erklärte sich überzeugt zu haben, dass die Empfindung erst dann vollständig aufgehoben wird, wenn alle graue Substanz des

---

1) *Roser* u. *Wunderlich* Archiv pag. 115 folg.

2) Unters. Versuch XI. XII. — *Roser* u. *Wunderlich* Arch. pag. 110 folg.

3) Prem. traité Exp. XI. XII.

4) Trait. et decouv. Second supplement. pag. 166.

Rückenmarks durchschnitten ist. Ich habe diese Versuche an Fröschen vorgenommen und Resultate erhalten, welche von denen *Stilling's* durchaus abweichen. Nach der Durchschneidung der hinteren Hälfte war die Empfindung noch nicht vollständig aufgehoben; ebenso bestand nach der Durchschneidung der vorderen Hälfte noch einige Bewegung fort, wenn diese Operation, ohne die Bauchhöhle zu eröffnen, nach der Eröffnung der Wirbelsäule von hinten vorgenommen worden war. Diese Erscheinungen lassen verschiedene Erklärungen zu. Es bleibt ungewiss, ob die noch fortbestehenden Functionen durch die ungetrennten Hälften der Seitenstränge, durch die graue Substanz oder die Vorderstränge bedingt werden.

Da hierbei die Leitung durch die graue Substanz mit zur Sprache kommt, so werde ich in dem folgenden Abschnitte diese Versuche genauer besprechen.

Bei Säugethieren habe ich bei der Unsicherheit dieser Untersuchungsmethode keine derartigen Versuche angestellt. Selbst wenn man so bestimmte Resultate erhalten sollte, wie sie *Stilling* angiebt, so lässt sich immer der Einwand machen, dass die Leitung nicht nur in den getrennten Fasern, sondern auch in den der Wunde zunächst gelegenen Theilen aufgehoben worden sei, da sich wohl nicht in Abrede stellen lässt, dass durch eine Rückenmarkswunde auch die angränzenden Theile afficirt werden. Dieser Missstand ist offenbar bei Fröschen weniger gross als bei Säugethieren. Wie überhaupt erstere gegen Eingriffe in ihren Organismus weit unempfindlicher sind, als Thiere höherer Klassen, so werden auch bei Rückenmarkswunden die Functionen der ungetrennten Theile bei ihnen weit weniger beeinträchtigt.

Gewiss ist, dass sich bei Fröschen das Rückenmark von hinten so tief einschneiden lässt, dass die Empfindung aufgehoben wird, die Bewegung aber noch fortbesteht; ferner, dass sich vorn so tiefe Querschnitte machen lassen, dass die Bewegung aufgehoben wird, die Empfindung aber noch fortbesteht; — Thatsachen, die wenigstens darauf hinweisen, dass die vordersten Partieen des Rückenmarks nur motorisch, die hintersten nur sensibel sind. — Zu bestimmten und vollständigen Resultaten kann dagegen diese Untersuchungsmethode nicht führen.

### *B) Versuche auf dem Wege direkter Reizung.*

Auf die Oberfläche des Rückenmarks haben fast alle Experimentatoren, welche Untersuchungen über die Leitung der Stränge anstellten, Reize angewendet. *Kürschner* und *Longet* haben zuerst auf die Vorzüge der Methode der Application der Reize auf die Durchschnittsfläche des Rückenmarkes aufmerksam gemacht. Ich habe beide Methoden angewendet und an Fröschen und Hunden experimentirt. — Durch an Fröschen angestellte Experimente zu einer sicheren Entscheidung über die vorliegende Frage zu gelangen, hatte ich schon *a priori* geringe Hoffnung. Die geringen Dimensionen des Rückenmarkes überhaupt und der weissen Substanz insbesondere, sowie der Umstand, dass die wahre Gränze der grauen Substanz mit unbewaffneten Augen sich nicht erkennen lässt, benehmen diesen Versuchen in mancher Beziehung die wünschenswerthe Sicherheit. Ferner sind die Gefühlsreactionen bei diesen Thieren sehr zweideutig. Endlich sind spontan eintretende Bewegungen von Bewegungen in Folge von Empfindung und Schmerzen nicht zu unterscheiden.

Sticht man mit einer Nadel kurze Zeit nachdem man die Wirbelsäule von hinten eröffnet hat, nur oberflächlich in die *Hinterstränge* ein, so entstehen jedesmal so heftige allgemeine Bewegungen, dass, wenn die Nadel nicht schnell wieder zurückgezogen wird, eine bedeutende Verletzung des Rückenmarks unvermeidlich ist. Der Frosch sucht im Augenblick, in welchem die Nadel durch die Oberfläche dringt, mit aller Kraft zu entfliehen. Dass die Hinterstränge höchst sensibel sind, ist unzweifelhaft. — Dass durch Reizung der Hinterstränge an einem decapitirten Frosche ebenfalls noch Bewegungen eintreten, kann natürlich nicht zur Begründung der Ansicht dienen, dass die Hinterstränge auch motorisch sind. Reflexbewegungen lassen sich durch Reize an jeder Stelle des Verlaufs centripetaler Nervenfasern hervorrufen, wenn auch an der einen Stelle leichter, wie an der andern; so z. B. weit leichter durch Reizung an den peripherischen Enden der Nerven, als durch Reizung der Nervenstämme. Ebenso lassen sich auch an den Centralorganen durch Reizung der in ihnen verlaufenden centripetalen Fasern Reflexbewegungen hervorrufen. Bei allen Bewegungen, die in Theilen *unterhalb* der

Reizungsstelle eintreten, bleibt es desshalb immer zweifelhaft, ob sie durch Reflex oder durch directe Reizung motorischer Fasern entstanden seien. Bewegungen in Theilen, die ihre Nerven von *oberhalb* der Reizungsstelle befindlichen Rückenmarkstheilen erhalten, können nur reflectirte sein. Solche Bewegungen lassen sich in der That hervorrufen. Werden die Hinterstränge 1—2‴ unterhalb des Austritts der Nerven für die vorderen Extremitäten (am 4. und 5. Wirbel) bei noch hinlänglich reizbaren Individuen gereizt, so treten Bewegungen in den vorderen Extremitäten ein; meistens werden sie nach hinten bewegt. —

Folgender von *Kürschner* [1]) angegebener Versuch, den ich bei der Wiederholung vollständig bestätigt gefunden habe, spricht direkt dafür, dass die durch Reizung der hinteren Stränge eintretenden Bewegungen reflectirte sind. Dieser Versuch basirt sich auf die Erfahrung, dass einige Zeit, nachdem die Reflexthätigkeit bereits erloschen ist, direkte Reizung motorischer Nervenfasern noch Contraction in den Muskeln hervorruft. Einem decapitirten Frosch wird die Wirbelsäule von hinten eröffnet. Man wartet dann den Zeitpunkt ab, bis sich keine Reflexbewegungen mehr hervorrufen lassen. Reizung der Hinterstränge bringt dann keine Bewegung mehr hervor, während bei Reizung der Vorderstränge Muskelcontractionen erfolgen.

Um die *Vorderstränge* an einem lebenden Frosche zu reizen, muss die Bauchhöhle eröffnet werden. Nimmt man die Reizung von hinten aus mit einer krummen Nadel vor, wie dies *Valentin* [2]) gethan hat, so kann man unmöglich zu einem exacten Resultate kommen; denn mittelbare Reizung der Hinterstränge und der Nervenwurzeln ist bei einem solchen Verfahren unvermeidlich. Hat man aber eine so eingreifende Operation gemacht, wie die Eröffnung der Wirbelsäule von vorn ist, besonders wenn man, wie es *van Deen* [3]) thut, alle Eingeweide entfernt hat, so lässt sich nicht ohne Grund einwenden, dass nur noch sehr intensive Schmerzen auffallende Reactionen hervorbringen würden. Wenn man aber nach dieser Eröffnung von vornen die Vorder-

1) Uebers. v. *Marshall Hall* Abhandl. pag. 210.

2) De funct. nerv. pag. 133 et 134.

3) a. a. O. pag. 10.

stränge mit einer Nadel reizt, so entstehen dann allerdings die Erscheinungen, wie sie von *van Deen* [1]) angegeben und von *Stilling* [2]) bestätigt werden. Es treten Bewegungen in den Theilen ein, deren Nerven an den Reizungsstellen oder in zunächst unterhalb befindlichen Rückenmarksparthien entspringen. Ob aber die Vorderstränge ausser motorischen Fasern nicht auch eine geringe Anzahl sensibler Fasern enthalten, lässt sich durch diesen Versuch gewiss nicht entscheiden; denn während der Reizung der Vorderstränge macht das Thier häufig Anstrengungen zur Flucht. Gegen die Annahme, dass diese Bewegungen die Folge des Empfindens der Reize seien, lässt sich nur anführen, dass sie nicht constant eintreten und desshalb als zufällig intercurrirende spontane Bewegungen zu betrachten seien.

Macht man denselben Versuch an einem *decapitirten Thiere*, so fallen die öfters störend intercurrirenden Bewegungen weg. Es lässt sich dann die Wirbelsäule weit bequemer und schneller eröffnen. Desshalb besitzt alsdann das Rückenmark noch eine weit grössere Reizbarkeit, und wenn der Versuch so angestellt wurde, konnte ich durch mechanische Reizung am 1, 2, 3 und 4ten Wirbel Bewegungen in den hinteren Extremitäten hervorrufen. Nie aber sah ich in diesem Falle Bewegungen in oberhalb der Reizungsstelle gelegenen Theilen eintreten. —

Vergleichen wir die bei Reizung der Vorderstränge und bei Reizung der Hinterstränge eintretenden Bewegungen decapitirter Thiere, so ist bei wenig reizbaren Individuen allerdings kein Unterschied zu bemerken. Es treten dann in beiden Fällen Bewegungen in Theilen ein, deren Nerven an der Reizungsstelle oder zunächst derselben entspringen. Doch bei Thieren, deren Reflexthätigkeit noch lebhaft ist, besteht der Unterschied, auf den *Kürschner* [3]) aufmerksam gemacht hat, dass bei Reizung der Hinterstränge Bewegungen in *oberhalb* der Reizungsstelle gelegenen Theilen eintreten, wie oben schon angegeben wurde, wodurch diese sich deutlich als Reflexbewegungen, die durch

---

1) Premier traité. Exp. I.

2) Untersuch. Versuch I.

3) a. a. O. pag. 196.

Reizung der Vorderstränge entstandenen aber sich als direkt erregte Bewegungen zu erkennen geben.

*Die Application der Reize auf die Durchschnittsfläche* des Rückenmarkes ist gewiss von allen Untersuchungsmethoden diejenige, welche uns die genauesten Resultate zu liefern vermag. Entstehen durch oberflächliche Reizung der Durchschnittsfläche der Hinterstränge bei einem decapitirten Thiere Bewegungen, so lassen sich diese nicht anders, als nur durch direkte Reizung motorischer Fasern erklären. Ebenso würde es bewiesen sein, dass die Vorderstränge auch sensible Fasern enthielten, sobald durch oberflächliche Reizung ihrer Durchschnittsfläche bei noch vorhandener Verbindung mit dem Gehirn eine Reaction erfolgte.

Um bei den auf diese Weise an Fröschen angestellten Versuchen Gewissheit zu haben, dass die beabsichtigte Reizung der Vorder- und Hintersträngen nur diese und nicht andere Theile wie die graue Substanz oder die Seitenstränge getroffen habe, wurden die Reize nur in der Nähe der Mittellinie und der vorderen oder hinteren Oberfläche des Rückenmarkes applicirt. — Um die Seitenstränge zu reizen, wurden die Einstiche in gleicher Höhe mit dem Centralcanal ganz in der Nähe der seitlichen Oberfläche des Rückenmarkes gemacht. — (Siehe die Beschreibung der Lagerungsverhältnisse der weissen und grauen Substanz beim Frosch. pag. 9.) — So konstante Resultate wie sie *Kürschner* [1]) bei der Beschreibung seiner an decapitirten Fröschen angestellten Versuche angiebt, konnte ich in vielen Fällen nicht erhalten. Nicht selten waren durch oberflächliche Einstiche an der ganzen Durchschnittsfläche des Rückenmarkes keine Bewegungen hervorzubringen. An den Hintersträngen erregten solche oberflächliche Einstiche *nie* Bewegungen. Wenn ich aber bei decapitirten Fröschen an der Durchschnittsfläche dieser Hinterstränge tiefere Einstiche ausführte, so entstanden auch hier Bewegungen, von welchen es nun zweifelhaft bleibt, ob dieselben auf directe oder auf indirecte Weise veranlasst wurden. An den Vordersträngen brachten indess schon oberflächliche Einstiche bei reizbaren Fröschen Bewegungen hervor. Durch Einstiche in die Seitenstränge habe ich eben-

1) a. a. O. pag. 197.

falls öfters Bewegungen eintreten sehen. — Das umgekehrte Verhältniss war zu beobachten, wenn die Durchschnittsfläche des mit dem Gehirn zusammenhängenden Rückenmarks gereizt ward. Einem Frosch wird die Wirbelsäule von hinten geöffnet und das Rückenmark in einiger Entfernung unterhalb des grossen Armnerven durchschnitten. Von dem unteren Stück des Rückenmarks wird so viel entfernt, dass sich auf die Durchschnittsfläche des oberen mit dem Gehirn zusammenhängenden Stückes Reize appliciren lassen. Man kann dann bis eine Linie tief in die Vorderstränge einstechen ohne dass Bewegungen erfolgen, während weit weniger tiefe Einstiche in die Hintstränge Bewegungen in den vorderen Körpertheilen hervorrufen, welche man wenigstens mit Wahrscheinlichkeit als Schmerzensäusserung betrachten kann.

Als *Resultat* dieser auf dem Wege directer Reizung an *Fröschen* gemachten Untersuchungen möchte ich nur Folgendes angeben:

Es wurden keine Erscheinungen beobachtet, die dem Lehrsatze, dass die Vorderstränge nur centrifugal und die Hinterstränge nur centripetal leiten, widersprochen hätten. Als einen vollständigen experimentellen Beweis für diesen Lehrsatz möchte ich jedoch diese Versuche nicht betrachten.

Die an *Säugethieren* angestellten Experimente haben dagegen so exacte und constante Resultate, dass durch sie dieser Beweis geliefert werden kann.

Einem Hunde wurden die Wirbelbogen des ersten Lendenwirbels und des letzten Brustwirbels entfernt. Das Rückenmark wurde durchschnitten und von dem unteren Stück ein ungefähr zolllanges Stück hinweggenommen, um auf die Durchschnittsfläche des oberen Rückenmarkstückes Reize appliciren zu können. — Nachdem sich das Thier vollkommen von der Narkotisation durch Chloroform erholt hatte, wurde mit einer Nadel in die Hinterstränge eingestochen. Sobald nur die Spitze der Nadel eingedrungen war, ertönte ein lautes Schreien und mit allen vorderen Körpertheilen wurden heftige Bewegungen ausgeführt. Nachdem das Thier sich beruhigt hatte, wurde die Nadel mehrere Linien tief in die Vorderstränge eingeführt. Es erfolgte nicht die mindeste Reaction. Mit demselben negativen Resultat wurde die Nadel in die Seitenstränge etwas oberhalb der Mitte des Rückenmarks einge-

führt. Wurden an der Durchschnittsfläche von vorn nach hinten zu Einstiche gemacht, sodass der nächstfolgende Einstich immer nur ein Weniges höher als der vorhergehende das Rückenmark traff, so ergab sich, dass an einer bestimmten Stelle die heftigsten Schmerzensäusserungen erfolgten, während der vorhergehende Einstich noch ohne alle Wirkung gewesen war. So konnte durch wiederholte Einstiche die ungefähre Gränze des sensibeln Theils der Durchschnittsfläche bestimmt werden. Die Ausdehnung dieses sensibeln Theils der Durchschnittsfläche stimmte ungefähr mit dem Durchmesser der Hinterstränge überein. Derselbe Versuch wurde an einem anderen Hunde mit demselben Erfolge vorgenommen. Diese Resultate stimmen ganz mit den von *Longet* erhaltenen überein. Dasselbe hat *Stilling* [1]) bei Anstellung dieser Versuche beobachtet.

Durch diese Versuche glaube ich als constatirt betrachten zu können:

*Dass die Vorderstränge keine sensibele Fasern enthalten, wohl aber die Hinterstränge.*

Was man gegen die Beweiskraft dieser Versuche einwenden könnte, wäre Folgendes: Die eingreifende Operation habe die Perception der Thiere für Gefühlseindrücke in der Art geschwächt, dass so intensive Schmerzen, wie sie durch die Reizung einer Menge sensibler Fasern in den Hintersträngen entstehen, den Thieren noch Schmerzenslaute ausgepresst hätten, während die Reizung einzelner in den Vordersträngen verlaufender sensibler Fasern keine Gefühlsreaction mehr hervorgebracht habe. Gegen einen solchen Einwurf lässt sich indess anführen, dass das Gefühl in den vorderen Körpertheilen nicht im Geringsten beeinträchtigt war, wie sich bei Application geringfügiger Reize auf dieselbe zeigte.

Das durch diese Experimente erhaltene Resultat wird ausserdem noch durch folgende Versuche bestätigt, bei welchen die *Durchschneidung als directe Reizung* angewendet wurde. Es wurden diese Versuche an Hunden angestellt, an welchen bereits in anderer Versuch, die Durchschneidung der beiden Seitenhälften am Lendenmarke in einiger Entfernung der Schnitte voneinander

1) Ros u. Wund. Arch. pag. 109.

ander gemacht worden war. Durch dieses Experiment war bereits die Bewegung und Empfindung in den hinteren Extremitäten erloschen. — An dem oberen Schnitt durch die eine Seitenhälfte wurde auch noch der Hinterstrang der anderen Seite durchschnitten. Um diesen Schnitt auszuführen, wurde die Branche einer feinen Scheere horizontal durch die Mitte des Rückenmarkes geführt, sodass die Spitze in den Seitenstrang der einen Seite eingestochen wurde und auf der andern Seite aus der Mitte der diese Seitenhälfte trennenden Wunde hervortratt. Bei dieser Operation erfolgte nicht die geringste Reaction. Nun wurden aber die Branchen der Scheere geschlossen und lautes Gesehrei und Heulen ertönte. Unterhalb des Schnittes konnten nun Einstiche auch in den Hinterstrang der Seite gemacht werden, auf welcher der Vorderstrang noch undurchschnitten war, ohne dass irgend ein Schmerzenslaut oder Bewegungen in den vorderen Körpertheilen erfolgten. Ebensowenig hatte die Abtragung eines ungefähr $^1/_4$“ langen Stückes von Rückenmarksubstanz, wodurch die Hinterstränge und ein grosser Theil der Seitenstränge entfernt wurde, irgend eine Gefühlsreaction zur Folge. — Hierauf wurde die zurückgebliebene Schichte Rückenmarksubstanz, welche durch die Vorderstränge und den vordersten Theil der Seitenstränge gebildet wurde, durchschnitten und zwar ebenfalls ohne Reaction in den vorderen Körpertheilen, aber in den hinteren Extremitäten erfolgten Zuckungen, der Schwanz wurde erhoben, am After wurde die Schleimhaut vorgetrieben und durch den stark contrahirten Sphincter eingeschnürt. — Bei der anatomischen Untersuchung ergab sich, dass durch den Schnitt etwas mehr als die hintere Hälfte des Rückenmarkes getrennt war, sodass der erste Einstich der Scheerenbranche offenbar die Hinterstränge nicht berührt hatte. — Die graue Substanz des Rückenmarkes war durch diesen Schnitt fast vollständig durchschnitten worden.

Dass die Hinterstränge sensible Fasern in grosser Menge enthalten müssen, ist gewiss, ob sie aber nicht auch motorische Fasern enthalten, bleibt bei den bisher beschriebenen Versuchen unentschieden.

Um diese Verhältnisse ebenfalls durch Versuche an Säugethieren zu erforschen, wurde an decapitirten Kaninchen experimentirt und auf ähnliche Weise verfahren, wie *Kürschner* die-

sen Versuch anstellte. — Bei oberflächlichen Einstichen in die Durchschnittsfläche des Rückenmarkes erfolgte keine Reaction, mochten dieselbe in die Vorder-, Seiten- oder Hinterstränge gemacht werden. Hierauf wurde ein durch den magnetoelectrischen Rotationsapparat erzeugter Strom von solcher Schwäche, dass er kaum mit der Zungenspitze gefühlt werden konnte, auf eine frische Durchschnittsfläche des Rückenmarkes unmittelbar unterhalb der letzten Rippe angewendet. Bei Application der Poldrähte auf die Durchschnittsfläche der Vorderstränge erfolgten Zuckungen in den Lendenmuskeln. Schwache Zuckungen liessen sich auch durch Reizung der Seitenstränge hervorrufen. Reizung der Hinterstränge hat dagegen keine Reaction zur Folge. Ganz dieselben Erscheinungen hat *Longet* bei seinen an Hunden angestellten Experimenten beobachtet. Diese Resultate stimmen auch mit den von *Kürschner* erhaltenen überein, welcher mechanische Reize auf die Durchschnittsfläche applicirte.

Durch Versuche an Säugethieren auf dem Wege directer Reizung ist demnach bewiesen:

1) *Dass die Vorderstränge keine sensibele Fasern enthalten, sondern nur motorische.*

2) *Dass die Hinterstränge keine motorische Fasern enthalten, sondern nur sensible.*

Über die Leitung in den *Seitensträngen* wage ich mich nicht bestimmt zu entscheiden. Dass die Vorderstränge innerhalb des motorischen und die Hinterstränge innerhalb des sensiblen Theils der Durchschnittsfläche des Rückenmarckes liegen, liess sich bei den angestellten Versuchen mit Bestimmtheit erkennen; doch die Gränze liess sich nicht genau genug bestimmen, um über das Verhalten der Seitenstränge entscheiden zu können. Motorische Fasern sind gewiss in den Seitensträngen enthalten und es scheint allerdings Manches dafür zu sprechen, dass keine sensibeln Fasern in ihnen verlaufen; dies lässt sich von den vorderen Theilen derselben mit Gewissheit behaupten. *Longet* [1]) und *Stilling* [2]) sprechen selbst mit Bestimmtheit die Ansicht aus, dass die Seitenstränge ebenso wenig sensibel seien als die Vorderstränge. Sollte sich

1) Anat. und physiol. d. syst. nerv. T. I. pag. 285.

2) Ros. und Wund. Arch. pag 109.

dies bestätigen, so würde dies eine höchst merkwürdige und auffallende Thatsache sein. Die Seitenstränge betragen bei weitem mehr als die Hälfte der Masse des Rückenmarkes, es würden also demnach über $^3/_4$ der Rückenmarksubstanz keine sensiblen Fasern enthalten.

---

Die Resultate der angestellten Versuche stimmen also in Bezug auf die Leitung der Vorder- und Hinterstränge mit der grossen Mehrzahl der Autoren überein, obgleich manche dieser Autoren ihre Ansichten auf Versuche stützen, welche ich als ungenau und nicht entscheidend zurückgewiesen habe. —

Die Ursachen, durch welche *Budge* so abweichende Resultate erhalten hat, scheinen sich mir zum Theil schon aus der Beschreibung seiner Versuche entnehmen zu lassen. Bei genauerer Bekanntschaft mit allen speciellen Verhältnissen, welche bei diesen Versuchen bestanden, möchte es vielleicht gelingen, alle diese Abweichungen aufzuklären. — *Budge* [1]) durchschnitt das von hinten blosgelegte Rückenmark in der Art, dass er zuerst nur einen oberflächlichen Schnitt machte, diesen aber nach und nach bis zur völligen Durchschneidung vervollständigte. Bei Durchschneidung der zuletzt noch übrig gebliebenen 2‴ dicken Schichte sah er noch deutliche Zeichen von Empfindung. Wie leicht aber konnten diese durch die Berührung der Durchschnittsfläche der Hinterstränge mit dem Messer veranlasst worden sein! Alle jene Versuche bei welchen Stücke von verschiedner Dicke vom Rückenmarke abgetragen wurden erscheinen mir verdächtig. Durch solche Verwundungen entsteht sehr häufig in kurzer Zeit eine starke Anschwellung der nächst gelegenen Rückenmarksparthien, wodurch die Hinterstränge gegen die Wirbelbogen gedrängt und gleichsam eingeklemmt werden. Dann sind diese Theile so empfindlich, dass die leichteste Erschütterung des Grundes der Rückenmarkswunde während der Reizung derselben starke Schmerzensäusserungen hervorzurufen im Stande ist. Ich hatte Gelegenheit einen solchen Fall zu beobachten, bei welchem die Em-

---

1) Untersuch. über das Nervensyst. Heft 1. pag 10.

pfindlichkeit so gross war, dass selbst nach vollständiger Durchschneidung des Rückenmarkes Schmerzenslaute gehört wurden, wenn die hinteren Extremitäten stark gedrückt wurden, in Folge der Erschütterung, die hierdurch dem Rückenmarke mitgetheilt wurde.

## II. Ueber die Leitung in der grauen Substanz.

Die graue Substanz des Rückenmarckes im gewöhnlichen anatomischen Sinne des Wortes besteht aus zwei verschiedenen Elementen. Aus der eigentlichen grauen, körnigen Substanz (Ganglienkugeln) und aus diese durchziehenden Nervenfasern. Gewiss ist anzunehmen, dass diese verschiedene Elemente auch verschiedene Functionen haben. Durch Experimente können wir aber zunächst nur über die Leitung in der grauen Substanz im gewöhnlichen anatomischen Sinne des Wortes Aufschluss erhalten, denn es giebt keine Operation, durch welche wir alle Nervenfasern des Rückenmarkes trennen können ohne zugleich die Continuität der grauen Substanz vollständig aufzuheben. Die Durchschneidung der beiden Seitenhälften des Rückenmarkes an zwei verschiedenen Stellen in einiger Entfernung voneinander würde nur dann diesem Desiderate entsprechen, wenn alle Nervenfasern der beiden Seitenhälften in der ganzen Ausdehnung ihres Verlaufes im Rückenmarke auf derselben Seite verblieben. Da aber in der vorderen Commissur eine Kreuzung der Nervenfasern stattfindet, so kann jedenfalls die fortbestehende centrifugale Leitung wenigstens nicht der Vermittlung der körnigen Substanz allein zugeschrieben werden und berücksichtigt man ausserdem, dass die graue Substanz von Nervenfasern durchzogen wird, deren Verlauf uns noch unbekannt ist, dass sich also möglicher Weise in der grauen Commissur ebenfalls Nervenfasern kreuzen können, so muss man zugestehen, dass uns auch dieser Versuch über die Function der körnigen Substanz direct keinen Aufschluss ertheilen kann. Ich werde desshalb in Folgendem zunächst nur von der grauen Substanz im anatomischen Sinne des Wortes

sprechen. Zur Erforschung der Leitung in dieser grauen Substanz kann sowohl die directe Reizung, als auch die Untersuchungsmethode der Durchschneidung angewendet werden. Die Durchschneidung der hinteren oder vorderen weissen Substanz ohne Verletzung der grauen ist, wie bereits oben (pag. 26.) erwähnt, eine Unmöglichkeit. Die Durchschneidung der Seitenhälften des Rückenmarkes ist dagegen eine zur Entscheidung dieser Fragen anwendbare Untersuchungsmethode; denn nach der Durchschneidung einer Seitenhälfte steht der unterhalb des Querschnitts gelegene Theil derselben nur noch durch die Commissur des Rückenmarkes mit dem Gehirne in Verbindung, die zwar nicht vollständig, aber doch grösstentheils aus grauer Substanz gebildet wird. Die Durchschneidung der hinteren oder vorderen Hälfte des Rückenmarkes kann zwar direkt keinen Aufschluss über diese Frage geben, aber doch zur Erörterung derselben mitbenutzt werden.

## 1. Direkte Reizung der grauen Substanz.

*van Deen* [1]) und *Volkmann* [2]) führten eine feine Nadel in den Centralkanal des Frosches, ohne dass Reaction erfolgte. *Stilling* [3]) will dagegen bei der Ausführung dieses Versuches an decapitirten Fröschen stets Bewegungen gesehen haben. Beim Einstechen in die hintere graue Substanz der Durchschnittsfläche des mit dem Gehirn zusammenhängenden Rückenmarkes bei Säugethieren sah *Stilling* [4]) Schmerzensäusserungen, während beim Einstechen in die vordere graue Substanz dies nicht der Fall war. *Longet* [5]) spricht sich nach den bei seinen Versuchen an Säugethieren gemachten Beobachtungen dahin aus, dass die graue Substanz *tout à fait insensible* sei.

---

1) Prem. Traité. Exp. VI.

2) a. a. O. pag. 552.

3) Unters. Versuch VI.

4) *Roser* u. *Wunderlich* Archiv pag. 107, 109.

5) a. a. O. pag. 278.

So oft ich bei Fröschen den Versuch anstellte, die graue Substanz am Centralkanale auf der Durchschnittsfläche des Rückenmarks mit einer Nadel zu reizen, erfolgte niemals die geringste Reaction, selbst wenn die Nadel bis eine Linie tief eingeführt wurde. Der Versuch wurde sowohl an decapitirten als auch an nicht decapitirten Fröschen vorgenommen. Bei letzteren wurde nach Eröffnung der Wirbelsäule von hinten das Rückenmark am vierten Wirbel durchschnitten und der untere Theil desselben entfernt, um Platz zur Einführung der Nadel zu gewinnen. Nach diesen Versuchen sehe ich mich veranlasst zu glauben, dass *Stilling's* abweichende Resultate in der Anstellungsweise des Versuchs begründet waren, indem die nächstgelegenen Theile mitgereizt wurden. — Anders verhält es sich mit der vom Centralkanal entfernteren grauen Substanz. Zwar ist die wahre Gränze der grauen und weissen Substanz auf der Durchschnittsfläche des Rückenmarkes beim Frosch nicht ohne Anwendung einer Vergrösserung zu erkennen; doch wenn man das Verhältniss der Grösse der grauen zur weissen Substanz kennt, so kann man die Einstiche doch so machen, dass sie offenbar die vorderen Hörner der grauen Substanz treffen müssen. Dabei sieht man häufig Bewegungen entstehen. — Ob auf die Reizung der hinteren Hörner der grauen Substanz Empfindungen entstehen, lässt sich bei Fröschen wegen der Unsicherheit der darauf erfolgenden Erscheinungen nicht mit Zuversicht durch Versuche ermitteln. Bei den weiter oben (pag. 32.) beschriebenen, an Hunden angestellten Versuchen liess sich die Gränze der grauen und weissen Substanz wegen des aus dem Rückenmarke selbst hervorquillenden Blutes nicht erkennen. Wenn aber Einstiche an verschiedenen Stellen der vorderen Hälfte, von welchen einige bestimmt auch die vorderen Hörner der grauen Substanz treffen mussten, ausgeführt wurden, so hatten diese keine Reaction zur Folge. Einstiche, die wahrscheinlich nur die hinteren Hörner der grauen Substanz trafen, brachten Empfindungen hervor. Bei der Unsicherheit dieser ganzen Methode wage ich indess als einziges Resultat dieser direkten Reizversuche der grauen Substanz nur das anzugeben: dass Reize am Centralkanal angebracht, keine Reaction zur Folge haben.

## 2. Durchschneidung der hinteren oder vorderen Hälfte des Rückenmarkes.

Bei Besprechung der Leitung in den Rückenmarkssträngen (pag. 26.) habe ich diese Versuche bereits erwähnt, und die Resultate angegeben, welche *van Deen* und *Stilling* erhalten haben.

Mit Recht lässt sich diesen Versuchen der Vorwurf der Ungenauigkeit machen. Es besteht keine natürliche Gränze, die das Rückenmark in eine vordere und hintere Hälfte scheidet. Die Tiefe des Schnittes muss desshalb auf Ungefähr nach dem Augenmaasse bestimmt werden. Desshalb ist eine genaue anatomische Untersuchung der ausgeführten Schnittwunden unerlässlich, wenn die gemachten Beobachtungen einen Werth haben sollen. Nur auf diese Weise ist es möglich, zur Gewissheit zu gelangen, ob die beabsichtigte Operation auch wirklich ausgeführt wurde. Zu diesem Zwecke wurde bei allen hier beschriebenen Versuchen, nach der Tödtung des Frosches, das Rückenmark sorgfältig aus dem Wirbelkanal genommen und unter Wasser untersucht. Bei Betrachtung seiner Aussenfläehen lässt sich dann erkennen, ob der Schnitt in der That auf beiden Seiten bis zur Mitte eingedrungen ist. Hierauf wurde die Längstheilung des Rückenmarkes vorgenommen, was, sobald die *pia mater* an der vorderen Rückenmarksspalte getrennt ist, sehr leicht ohne alle Verletzung der beiden Seitenhälften zu bewerkstelligen ist. Man erkennt dann, wie tief der Schnitt ins Innere des Rückenmarkes eingedrungen ist.

Ich gebe nun die Beschreibung der Erscheinungen, welche ich bei der Anstellung dieser Versuche beobachtet habe. —

Wird einem Frosch die *hintere Hälfte* des Rückenmarkes am dritten Wirbel durchschnitten, so kann er fast noch eben so kräftige Sprünge machen, wie vorher. Ob hinten Gefühl besteht, oder nicht, ist nicht ganz leicht zu entscheiden, weil bei jeder Reizung der hinteren Extremitäten heftige Reflexbewegungen in ihnen entstehen. Es bleibt dann zweifelhaft, ob die Bewegungen, die in den vorderen Extremitäten eintreten, durch den Stoss der Reflexbewegungen hervorgebracht wurden, oder ob sie Folge des empfundenen Reizes sind. Um hierüber entscheiden zu können, wurden die vorderen Nervenwurzeln der hinteren Extremi-

täten durchschnitten. — Man kann zu diesem Zwecke den unteren Theil der Wirbelsäule von vorn öffnen, oder von hinten aus die vorderen Wurzeln mit einer Nadel hervorziehen und durchschneiden. In beiden Fällen muss man sich nach der Operation durch Prüfung des Gefühls überzeugen, dass die hinteren Wurzeln nicht gelitten haben, bevor man die Durchschneidung der Hinterstränge vornimmt. In allen Fällen, in welchen sich bei der Section nachwies, dass der Schnitt nicht tiefer als durch die hintere Hälfte gedrungen war, entstanden bei Reizung der hinteren Extremitäten Bewegungen in den vorderen Körpertheilen. — Es wurde hierbei nicht übersehen, dass, sobald die hinteren Extremitäten vollständig gelähmt sind, auf jegliche Einwirkung, welche das Thier bestimmt Anstrengungen zur Flucht zu machen, dieselben Bewegungen in den vorderen Extremitäten entstehen. Mögen nun Einwirkungen auf den Gesichtssinn stattfinden, oder intensive Reize auf die vorderen Extremitäten angewendet werden, der Frosch streckt in beiden Fällen die vorderen Extremitäten aus, zieht die Augen ein und windet sich mit erhobenem Kopfe hin und her. Man kann desshalb veranlasst werden, anzunehmen, solche Bewegungen seien Schmerzensäusserungen in Folge eines auf die hinteren Extremitäten applicirten Reizes, während diese Anstrengungen zur Flucht nur durch eine Erschütterung der vorderen Körpertheile bei der Anwendung dieses Reizes veranlasst wurden. — Um hierdurch nicht in Täuschungen zu verfallen, wandte ich chemische Reize an. Es wurde Schwefelsäure auf die hinteren Extremitäten gebracht, ohne dass der Glasstab die Haut berührte. Auch bei dieser Application entstanden Bewegungen in den vorderen Körpertheilen. Nur in den Fällen, in welchen die Section eine so tiefe Trennung des Rückenmarkes nachwies, dass die undurchschnittene Schichte wahrscheinlich nur aus weisser Substanz bestand, blieben die vorderen Körpertheile bei Application von Schwefelsäure auf die hinteren ruhig.

Nach der Durchschneidung der *vorderen Hälfte* des Rückenmarkes hatte ich in oft wiederholten Versuchen stets vollständige Paralyse der hinteren Extremitäten gesehen, so lange ich diese Operation von der Bauchhöhle aus vornahm. — Ich habe bei dieser Operation die Eingeweide nicht entfernt, sondern das

*peritonaeum* neben der Wirbelsäule eingeschnitten, die Eingeweide und Gefässstämme bei Seite geschoben und den vierten Wirbel weggebrochen. Nach der Ausführung der Operation bestanden zwar noch starke Reflexbewegungen in den hinteren Extremitäten, die willkührliche Bewegung war aber erloschen. Ganz andere Resultate erhielt ich dagegen, als ich die Wirbelsäule von hinten eröffnete. Die Wirbelbogen des dritten oder vierten Wirbels wurden gänzlich weggebrochen und die nächstgelegenen Muskeln so weit weggeschnitten, dass das Rückenmark an dieser Stelle in seiner ganzen Dicke deutlich zu sehen war. Hierdurch wurde es möglich, die Branche einer feinen Scheere oder ein feines Scalpell horizontal in die Mitte des Rückenmarkes einzuführen und die vordere Hälfte ohne Zerrung der hinteren zu durchschneiden. — Nach dieser Operation bestanden noch deutliche willkührliche Bewegungen in den hinteren Extremitäten fort. Nach der Decapitation liessen sich durch Reizung der vorderen Extremitäten Reflexbewegungen in den hinteren hervorrufen.

Die bei diesen Versuchen eintretenden Erscheinungen lassen, wie bereits erwähnt, eine sehr verschiedene Erklärung zu. Nur in Verbindung mit anderen Experimenten können sie zu einem Resultate führen. — Isolirt für sich betrachtet lassen sie sich für die Annahme einer Mischung von sensibelen und motorischen Fasern in den Hinter- und Vordersträngen anführen. — Den Resultaten der im ersten Abschnitte beschriebenen Versuchen zufolge, kann die nach der Durchschneidung der vorderen Hälfte des Rückenmarkes fortbestehende willkührliche Bewegung nur durch die graue Substanz oder die hintere Hälfte der Seitenstränge vermittelt worden sein. — Bei den Versuchen mit Durchschneidung der hinteren Hälfte muss die Vermittlung des fortbestehenden Gefühls der grauen Substanz zugeschrieben werden, da den Versuchen an Säugethieren zufolge der vordere Theil der Seitensträngen keine sensibele Fasern enthält.

### 3. Versuche mit Durchschneidung der Seitenhälften des Rückenmarkes.

Diese interessanten Versuche wurden zuerst von *van Deen* in grösserer Ausdehnung und mit verschiedenen Modificationen

an Fröschen angestellt. Von *Stilling* wurden dieselben wiederholt und einer davon auch an Säugethieren ausgeführt.. *Volkmann* hat ebenfalls die Versuche *van Deen's* wiederholt. — Ich habe diese Versuche an Fröschen und Säugethieren angestellt und bei der Durchschneidung der einen Seitenhälfte des Rückenmarkes verschiedene Modificationen in Bezug auf die Schnittstelle vorgenommen. Diese Operation kann mit Genauigkeit und ohne die andere Seitenhälfte durch den Operationseingriff zu beeinträchtigen, vorgenommen werden. Durch die hintere Spalte ist eine bestimmte Gränze für die Ausdehnung des Schnittes gegeben. Auch bei diesen Versuchen ist die anatomische Untersuchung der Rückenmarkswunden unerlässlich. Ist die Operation vollständig gelungen, so muss bei der Längstheilung des Rückenmarkes die durchschnittene Seitenhälfte in ein oberes und unteres Stück auseinanderfallen. Bei dieser Manipulation muss an der Schnittstelle mit der grössten Sorgfalt verfahren werden, damit eine kleine übriggebliebene Brücke undurchschnittener Nervensubstanz nicht unbemerkt durchrissen wird. Alle Versuche, bei welchen eine solche Brücke zurückgeblieben ist, sind natürlich aus der Reihe der Beobachtungen auszuscheiden. —

Folgende Beobachtungen habe ich zu oft wiederholten Malen bei an einer grossen Anzahl von *Fröschen* angestellten Versuchen gemacht.

Wurde die *eine Seitenhälfte* des Rückenmarkes in der Gegend des zweiten Wirbels (oberhalb des Ursprungs des grossen Armnerven) durchschnitten, so sprang der Frosch fast noch eben so energisch, wie vor der Operation umher. Nur an der vorderen Extremität auf der Seite des Schnittes war eine Veränderung zu bemerken; sie wurde nie mit der Fusssohle aufgesetzt. Doch einige Zeit nach der Operation liessen sich stets auch an ihr deutliche Bewegungen bemerken. Um dies deutlich beobachten zu können, fixirt man die hinteren Extremitäten des Frosches. Man bemerkt dann, dass diese vordere Extremität weit häufiger nach hinten gestreckt als nach vorn bewegt wird. Wurde ein Reiz auf die Nasenlöcher applicirt, so erfolgte mit derselben nie die bestimmte abwischende Bewegung, wie mit der vorderen Extremität der anderen Seite; sie wurde nach hinten gestreckt oder unbestimmt nach vorn bewegt. Nach der

Durchschneidung der hinteren Wurzeln dieser Extremität sieht man noch spontane Bewegungen in ihr auftreten. Auch das Gefühl bestand in derselben vor der Durchschneidung ihrer sensiblen Nervenwurzeln ebenso wie in der hinteren Extremität auf der Seite des Querschnittes fort; wurde der Frosch frei hingesetzt und ein Reiz auf die eine oder die andere dieser Extremitäten applicirt, so entfloh derselbe. — Nach der Durchschneidung einer Seitenhälfte am dritten Wirbel oder zwischen dem dritten und vierten wurden gleichfalls noch kräftige Sprünge gemacht, oder die Frösche krochen umher, wobei sie die beiden hinteren Extremitäten gleich gut bewegten. Wird die hintere Extremität auf der Seite des Schnittes gereizt, so wird entweder nur mit dieser Extremität ausgetreten, oder das Thier entflieht. Letzteres ist gewöhnlich der Fall, wenn der Frosch nicht durch starken Blutverlust schon allzusehr erschöpft ist. Beides kommt auch bei Fröschen mit unverletztem Rückenmarke vor. Die Empfindung besteht also ebenfalls in der hinteren Extremität auf der Seite des Quersehnittes fort. Werden bei dieser Operation noch die hinteren Nervenwurzeln der hinteren Extremitäten durchschnitten, so besteht demungeachtet die Bewegung in der hinteren Extremität auf der Seite des Quersehnittes fort; beide hinteren Extremitäten werden entweder noch gleich gut bewegt, oder die auf der Seite des Quersehnittes wird bei der Fortbewegung etwas weniger an den Leib angezogen. Ob das eine oder das andere geschieht, hängt von der Stelle des Quersehnittes und der Ausführung der Operation ab. Wird der Quersehnitt mehr im oberen Theile des dritten Wirbels gemacht und die nächstgelegenen Theile des Rückenmarkes bei der Ausführung des Quersehnitts und der Durchschneidung der Nervenwurzeln möglichst wenig beeinträchtigt, so bleibt die Bewegung der hinteren Extremitäten immer ungestört.

Wird der Quersehnitt an tiefer gelegenen Stellen des Rückenmarkes ausgeführt; so werden hierdurch die nach der Operation eintretenden Erscheinungen modificirt. Ist die Stelle des Schnittes zwischen dem vierten und fünften Wirbel, so besteht immer ein bedeutender Unterschied in den Bewegungen der beiden hinteren Extremitäten. Die auf der Seite des Schnittes wird nicht mit der Fusssohle aufgesetzt und bei der Fortbewegung, welche

nur zuweilen durch kleine Sprünge geschieht, wird sie immer weit weniger an den Leib angezogen als die der anderen Seite. Macht man ausser dieser Operation noch die Durchschneidung der hinteren Nervenwurzeln, so wird zwar der Unterschied in den Bewegungen der beiden hinteren Extremitäten noch weit grösser, demungeachtet besteht aber in der hinteren Extremität auf der Seite des Querschnitts noch einige Bewegung fort. Diese Extremität wird zwar bei dem Umherkriechen nachgeschleift, so dass sie gänzlich gelähmt zu sein scheint, bei genauerer Beobachtung bemerkt man aber, dass sie noch gestreckt und, wenn auch nur höchst unbedeutend, gebeugt werden kann: Liegen beide hintere Extremitäten gebeugt dem Leibe an und der Frosch beginnt vorwärts zu kriechen, so wird mit beiden ausgetreten; sie werden also gestreckt. Die auf der Seite des Querschnittes bleibt aber bei der weiteren Fortbewegung ausgestreckt liegen und wird nur selten bei heftigen Anstrengungen in den übrigen Extremitäten um etwas Weniges gebeugt. Wenn man den Frosch auf den Rücken legt, so ist noch deutlicher zu bemerken, dass diese Extremität noch ausgestreckt werden kann. — Bei einem Frosch, bei dem die anatomische Untersuchung eine vollständige Durchschneidung der einen Seitenhälfte kaum $^1/_4$''' oberhalb des *N. inguinalis* nachwies, liessen sich in der hinteren Extremität auf der Seite des Querschnittes, die beim Fortkriechen nachgeschleift wurde und auf den ersten Anblick gänzlich paralysirt zu sein schien, zuweilen noch einige Bewegungen bemerken. Diese Extremität konnte noch ausgestreckt werden und wurde bei starken Anstrengungen in den übrigen Extremitäten zuweilen etwas gebeugt. — Schnitte, die unmittelbar oberhalb oder gerade an die Ursprungsstelle des *N. inguinalis* fallen, beeinträchtigen die Bewegungen der hinteren Extremität auf der Seite des Schnittes im höchsten Grade oder heben sie ganz auf. Diese Extremität wird in allen Fällen nachgeschleift und es lässt sich an ihr entweder gar keine oder nur höchst selten bei starken Anstrengungen der übrigen Extremitäten eine unbedeutende, örtlich beschränkte Bewegung, so z. B. eine schwache Beugung des Unterschenkels bemerken. Wird diese Extremität gereizt, so entzieht das Thier; in manchen Fällen nur nach Application der

intensivsten Reize (z. B. von concentrirter Schwefelsäure). Das Gefühl ist also erhalten, wenn auch in manchen Fällen bedeutend beeinträchtigt. Diese Unterschiede haben ihren Grund in der verschiedenen Stelle des Schnittes, in der grösseren oder geringeren Beeinträchtigung der nächstgelegenen Theile und in der verschiedenen Lebenskräftigkeit der Frösche.

Diese verschiedenen Versuche zeigen deutlich, dass die Bewegungen und Empfindung [1]) einer Extremität um so mehr beeinträchtigt wird, je näher oberhalb ihrer Nerven aus dem Rückenmarke der Querschnitte gemacht wird.

Eine zweite Reihe bilden die Versuche mit Durchschneidung *beider Seitenhälften* an verschiedenen Stellen des Rückenmarkes. Ob die Leitung in dem zwischen den beiden Schnitten befindlichen Rückenmarksstücke fortbesteht oder aufhört, hängt augenscheinlich von der verschiedenen Entfernung der beiden Schnitte voneinander ab.

Wurde der eine Schnitt gerade oberhalb des einen Armnerven, der andere gerade unterhalb des Armnerven der anderen Seite gemacht, so war die willkührliche Bewegung und Empfindung in den hinteren Extremitäten aufgehoben. Dasselbe war der Fall, wenn beide Schnitte zwischen dem Ursprung der Nerven der hinteren und vorderen Extremitäten, der eine am dritten, der andere am fünften Wirbel (oder zwischen dem vierten und fünften Wirbel) gemacht wurden, so dass die Entfernung der beiden Schnitte voneinander meist $1\frac{1}{2}$ Par. Linien betrug. Die Bewegung und Empfindung bestand, nachdem nur der eine oder der andere dieser Schnitte gemacht war, in der Art und Weise fort, wie dies bereits weiter oben angegeben wurde, sie war aber aufgehoben, sobald der zweite Schnitt hinzugefügt wurde. Bei Reizung der vorderen Extremitäten blieben die hinteren unbeweglich; bei

1) Der Grad der fortbestehenden Empfindung lässt sich überhaupt und zumal bei Fröschen nicht mit Bestimmtheit ermitteln; es lässt sich indess mit Berücksichtigung der Thatsache, dass die Empfindung durch einen Querschnitt am zweiten Wirbel nicht bemerkbar und durch einem Querschnitt unmittelbar oberhalb des Ursprung des *N. inguinalis* in hohem Grade beeinträchtigt wird, mit Bestimmtheit annehmen, dass sich dieselbe ebenso verhält wie die Bewegung.

Reizung der hinteren wurden vorn nur dann Bewegungen gemacht, wenn durch eine heftige Reflexbewegung der hinteren Extremitäten der Vorderkörper einen Stoss erhielt. Obgleich in einigen Fällen die Reflexthätigkeit nach dieser Operation auffallend gesteigert war, so fand dennoch niemals eine Ausbreitung der Reflexbewegung von vorn nach hinten oder umgekehrt statt. Ebenso verhielt es sich nach der Decapitation des Thieres. In einigen Fällen, in welchen noch deutliche willkührliche Bewegungen in den hinteren Extremitäten beobachtet wurden und die Reflexbewegungen sich von vorn nach hinten und umgekehrt ausbreiteten, wurde jedesmal bei genauer Untersuchung des Rückenmarkes eine, wenn auch nur höchst schmale Brücke ungetrennter Nervensubstanz aufgefunden. —

Ein anderes ist das Resultat, wenn die Schnitte in grösserer Entfernung voneinander ausgeführt werden. In diesem Falle wird die Leitung in dem zwischen den beiden Schnitten befindlichen Rückenmarksstücke nicht vollständig aufgehoben. — Wurde der eine Schnitt oberhalb des Armnerven in der Gegend des zweiten Wirbels, der andere in der Nähe der unteren Anschwellung des Rückenmarckes am vierten oder fünften Wirbel gemacht, so konnte sich der Frosch nicht mehr fortbewegen, sobald beide Schnitte ausgeführt waren, er drehte sich nur mit Hülfe der vorderen Extremitäten nach der einen oder der anderen Seite. Die vordere Extremität auf der Seite des Querschnittes am zweiten Wirbel verhielt sich hierbei natürlich ebenso wie nach der Durchschneidung einer Seitenhälfte an dieser Stelle allein. Während den willkührlichen Bewegungen in den vorderen Extremitäten sieht man auch Bewegungen in den hinteren auftreten, da aber die Reflexthätigkeit in den letzteren sehr bedeutend ist, so lässt sich nicht entscheiden, ob diese Bewegungen nicht als Reflexbewegungen zu betrachten sind, die durch eine veränderte Lage des Gliedes hervorgerufen werden. Um zur Gewissheit zu gelangen, ob diese Bewegungen Reflexbewegungen sind oder nicht, durchschnitt ich bei einer grossen Anzahl von Fröschen, an welchen ich diesen Versuch anstellte, die hinteren Nervenwurzeln der hinteren Extremitäten. Das Eintreten von Reflexbewegungen in denselben in Folge direct auf sie einwirkender Reize oder durch veränderte Lage wird hierdurch unmöglich ge-

macht; um aber die so präparirten Thiere, die oft stundenlang bewegungslos verbleiben, zu Bewegungen zu veranlassen, darf man keine direkten Reize auf die Theile, deren sensibeln Nerven noch undurchschnitten sind, anwenden, denn hierdurch können ja immer noch allgemeine Reflexbewegungen hervorgerufen werden. Die Frösche wurden desshalb auf eine Glasplatte oder einen Teller mit glattem Boden gesetzt und dieser dann hin und her geschoben; so wurden dieselben veranlasst Bewegungen mit den vorderen Körpertheilen zu machen. Während denselben bewegte sich von Zeit zu Zeit die hintere Exremität auf der Seite des Querschnittes am zweiten Wirbel, sie wurde etwas stärker gebeugt und mehr an den Leib gezogen. In der anderen Extremität auf der Seite des unteren Querschnittes sah ich dagegen nie Bewegungen, wenn sich bei der anatomischen Untersuchung eine vollständige Durchschneidung der Seitenhälften nachwies. — Durch die Durchschneidung der einen Seitenhälfte am zweiten und der anderen zwischen dem vierten und fünften Wirbel wird also die Bewegung in der hinteren Extremität auf der Seite des Querschnittes am zweiten Wirbel (die vor der Ausführung des Schnittes zwischen dem vierten und fünften Wirbel ungestört fortbesteht) sehr beeinträchtigt und die der anderen hinteren Extremität (die vor der Ausführung des Schnittes am zweiten Wirbel sehr beeinträchtigt fortbesteht) gänzlich aufgehoben.

Für alle Bewegungen, welche in den im Vorhergehenden beschriebenen Versuchen unterhalb des Querschnittes durch eine Seitenhälfte des Rückenmarkes nach der Durchschneidung der hinteren Nervenwurzeln, der betreffenden Extremität noch fortbestehen, ist der Beweis geliefert, dass sie nicht als Reflexbewegungen betrachtet werden können. Man könnte indess diese Bewegungen für synergische (sympathische) erklären, [1]) die dadurch zu Stande kämen, dass die vom Gehirn ausgehenden Erregungszustände von den Fasern der undurchschnittenen Seitenhälfte des Rückenmarkes auf die Nervenfasern der durchschnittenen Seitenhälfte unterhalb des Querschnittes durch die körnige Substanz (Ganglienkugeln)

1) Als solche werden diese Bewegungen von *Henle* mit Erwähnung der von *Stilling* angestellten Versuche angeführt. Rationelle Patholog. Bd. 1. pag. 205.

übertragen würden. Da wir wissen, dass bei den Reflexbewegungen die durch peripherische Reize in den sensibeln Nervenfasern hervorgerufenen Erregungszustände im Rückenmarke auf motorische Fasern übertragen werden, so lässt sich die Möglichkeit einer solchen Uebertragung der vom Gehirn ausgehenden Actionen von einer motorischen Faser auf die andere nicht läugnen. Ich glaube indess darthuen zu können, dass die Bewegungen, von welchen es sich hier handelt, nicht auf diese Weise erklärt werden können. Von den symetrischen Bewegungen, die synchronisch mit den Bewegungen der anderen Seite ausgeführt werden, wäre es noch am ersten denkbar, dass sie durch eine Uebertragung der psychischen Erregung von den Nervenfasern der einen Seitenhälfte des Rückenmarkes auf die identischen der anderen Seite zu Stande kämen; doch die in den beiden hinteren Extremitäten regelmässig abwechselnden Bewegungen bei dem Umherkriechen der Frösche lassen sich keinenfalls auf diese Weise erklären. Ferner lässt sich aber von Bewegungen, die sich mit den der übrigen Extremitäten zu geordneten Bewegungsacten, zum Sprung und Umherkriechen combiniren, überhaupt nicht annehmen, dass sie durch Uebertragung der Erregungszustände von einer motorischen Faser auf die andere im Rückenmarke zu Stande kommen könnten, denn das Rückenmark ist nur Centralorgan für einfache Bewegungen wie Flexion, Extension, Adduction und Abduction, welche wir als Reflexbewegungen auftreten sehen; das Centralorgan jener combinirten Bewegungsacte ist dagegen ein höher gelegener Theil des Centralnervensystem. Die Bewegungen, welche nach der Durchschneidung einer Seitenhälfte des Rückenmarkes am zweiten und dritten und zwischen dem dritten und vierten Wirbel fortbestehen sind demnach *jedenfalls willkührliche.* Die beschränkten und selten eintretenden Bewegungen, welche bei den zuletzt beschriebenen Versuchen nach der Durchschneidung einer Seitenhälfte am unteren Theile des Rückenmarkes oder nach der Durchschneidung der beiden Seitenhälften desselben fortbestehen, lassen sich zwar für synergische Bewegungen erklären, für sie lässt es sich wenigstens nicht darthuen, ob sie willkührliche oder solche sympathische Bewegungen sind; beobachtet man aber die allmählige Abnahme der offenbar willkührlichen Bewegungen, welche nach der Durchschneidung der Seitenhälfte am

oberen Theil des Rückenmarkes fortbestehen, wenn in den verschiedenen Versuchen der Querschnitt an immer tieferen Stellen des Rückenmarkes gemacht wird, so wird man geneigt anzunehmen, dass auch diese letzten Spuren von Bewegungen willkührlich sind.

Die in diesen Versuchen gemachten Beobachtungen lassen sich demnach kurz in Folgendem zusammenfassen:

1) Nach Durchschneidung einer Seitenhälfte des Rückenmarkes besteht die willkührliche Bewegung und Empfindung in der Extremität derselben Seite unterhalb des Schnittes ungestört fort, wenn dieser in einer gewissen Entfernung von dem Ursprung ihrer Nerven aus dem Rückenmarke gemacht wird. Sie werden aber mehr und mehr beeinträchtigt, je näher an dieser Stelle der Schnitt ausgeführt wird und endlich ganz aufgehoben.

2) Bei der Durchschneidung der beiden Seitenhälften des Rückenmarkes hängt das Fortbestehen oder Nichtfortbestehen der Leitung in dem zwischen den beiden Schnitten befindlichen Rückenmarksstücke von der Entfernung der beiden Schnitte voneinander ab.

Betrachten wir nun in wiefern diese Resultate von den bei früheren Untersuchungen erhaltenen abweichen oder mit ihnen übereinstimmen.

*Van Deen* sah ebenfalls nach der Durchschneidung einer Seitenhälfte am dritten Wirbel Gefühl und Bewegung in den hinteren Extrimitäten fortbestehen. [1]) Er erklärt aber die Bewegungen in der hinteren Extremität auf der Seite des Querschnittes für Reflexbewegungen, weil sie, wie er angiebt, aufgehoben sein sollen, wenn die hinteren Nervenwurzeln der beiden hinteren Extremitäten (Exp. XXXIX) oder nur die vorderen Nervenwurzeln der hinteren Extremität der unverletzten Seite (Exp. XL) durchschnitten werden. Ich habe bereits weiter oben bei der Beschreibung dieses Versuches angegeben, dass die Bewegungen in dieser Extremität nach der Durchschneidung der hinteren Nervenwurzeln der hinteren Extemitäten ungestört fortbestehen, wenn die Durch-

1) a. a. O. Deuxième traité Exp. XXV u. XXXVII.

schneidung der Seitenhälfte im oberen Theil des dritten Wirbel ausgeführt wird und bei dieser Operation, sowie bei der Durchschneidung der Nervenwurzeln, die nächstgelegenen Theile des Rückenmarkes möglichst wenig beeinträchtigt werden. Auch den andern Versuch *van Deen's* habe ich wiederholt und die vorderen Wurzeln der hinteren Extremität der unverletzten Seite durchschnitten, aber auch nach dieser Operation besteht die Bewegung in der hinteren Extremität auf der Seite des Querschnittes ungestört fort; der Frosch bewegt sich mit dieser und den beiden vorderen Extremitäten vorwärts. Nach der Durchschneidung der beiden Seitenhälften in geringer Entfernung voneinander (der einen am dritten, der anderen am vierten Wirbel) sah *van Deen* alle Leitung zwischen den vorderen und hinteren Körpertheilen aufgehoben. (Exp. XXVIII) Ein Resultat, das mit dem der oben beschriebenen Versuche übereinstimmt. Wurden aber beide Schnitte in grösserer Entfernung voneinander, der eine unmittelbar unterhalb des Ursprungs der Nervenwurzeln der vorderen Extremitäten, der andere in der Gegend des fünften Wirbels gemacht, so sollen sich die Reflexbewegungen noch von vorn nach hinten und umgekehrt ausgebreitet haben und ausserdem will sich *van Deen* vom Fortbestehen des Gefühls in den hinteren Extremitäten überzeugt haben. (Exp. XXVII) Nach der Durchschneidung der einen Seitenhälfte oberhalb des Armnerven in der Gegend des ersten Wirbels und der anderen in der Gegend des dritten oder vierten Wirbels soll ebenfalls das Gefühl in beiden hinteren Extremitäten noch fortbestanden haben. Die Bewegungen in den hinteren Extremitäten und in der vorderen Extremität auf der Seite des Querschnittes am ersten Wirbel erklärt *van Deen* bei der Beschreibung dieses Versuches in seiner zweiten Abhandlung (pag. 101 Exp. XLVII) für Reflexbewegungen, weil, wie er angiebt, nach der Durchschneidung der hinteren Nervenwurzeln der vorderen Extremität, die mit dem Gehirn noch in unmittelbarer Verbindung steht, jene Bewegungen in den drei übrigen Extremitäten aufgehoben seien. Im zweiten Supplemente seines Werkes (pag. 186) erklärt *van Deen* dagegen, sich bei der Wiederholung dieses Versuchss überzeugt zu haben, dass die Bewegungen in der vorderen Extremität auf der Seite des Querschnittes in der Gegend des ersten Wirbels selbst nach der

Durchschneidung der hinteren Nervenwurzeln der beiden vorderen Extremitäten fortbestehen und dass er es desshalb für wahrscheinlich halte, dass auch die Bewegungen der hinteren Extremitäten willkührliche seien. [1]) Auffallend ist es indess, dass *van Deen* nach dieser gemachten Erfahrung nicht zugleich auch die von ihm aufgestellte Behauptung, dass die Bewegungen, die nach der Durchschneidung einer Seitenhälfte in der hinteren Extremität der gleichnamigen Seite fortbestehen, Reflexbewegungen seien, zurücknimmt.

Die Erscheinungen, die von *Stilling* nach der Durchschneidung der einen Seitenhälfte des Rückenmarkes [2]) gesehen wurden, stimmen mit den von mir beobachteten überein; durchaus abweichend sind dagegen die Resultate, welche derselbe bei der Durchschneidung der beiden Seitenhälften erhielt. Nach der Durchschneidung der einen Seitenhälfte am dritten und der anderen am vierten Wirbel soll die willkührliche Bewegnng und die Empfindnng in den hinteren Extremitäten fortbestanden haben (Vers. XXVIII) und wenn der eine Schnitt unmittelbar unterhalb des Ursprungs der Nervenwurzeln für die vordere Extremität und der andere in der Gegend des fünften Wirbels gemacht wurde, sollen die Frösche sogar noch umhergehüpft sein. (Versuch XXVII pag. 154) Nach der Durchschneidung der einen Seitenhälfte in der Gegend des ersten und der anderen in der des vierten oder dritten Wirbels soll ebenfalls die willkührliche Bewegung und Empfindung in den beiden hinteren Extremitäten fortbestanden haben. Die Frösche sollen sich fast wie ganz unverletzte bewegt haben. (Versuch XLVII pag. 254) Von *Valentin* [3]) wird ein diesem letzten ganz ähnlicher Versuch beschrieben, in welchem die eine Hälfte am hinteren Ende des *ventriculus quartus* die andere am unteren Theile des Rückenmarckes durchschnitten

1) *Henle* führt in seiner allgemeinen Anatomie pag. 709 diesen Versuch als einen experimentellen Beweis für das Zusammenwirken motorischer und sensibler Nerven an. Als solcher kann demnach dieser Versuch selbst nicht mehr mit Berufung auf *van Deen's* Resultate angesehen werden.

2) Unters. Versuch XXV, XXXVII, XXXIX, XL u. XLII.

3) De funct. nerv. pag 134 § 288. 7.

wurde. Nach dieser Operation soll der Frosch noch Sprungbewegungen gemacht haben, wobei jedoch die Zehen der Extremitäten nicht vom Boden entfernt wurden.

Ich habe mich wiederholt davon überzeugt, dass trotz der grössten Sorgfalt bei der Ausführung der Schnitte mitunter dennoch am Vorderstrang eine kleine Brücke undurchschnittener Rückenmarksubstanz zurückbleibt, die nur bei der genausten und sorgfältigsten anatomischen Untersuchung nicht übersehen wird. Dass solche höchst schmale Brücken einen Unterschied in den Versuchsresultaten veranlassen können, hatte ich öfters zu bemerken Gelegenheit. Auch das von *Stilling* bei der Durchschneidung der beiden Seitenhälften angewandte Verfahren [1]) giebt ohne genaue anatomische Untersuchung der Schnittwunde, von der bei der höchst ausführlichen Beschreibung seiner Versuche nie etwas erwähnt wird, keine Garantie dafür, dass nicht öfters eine kleine Brücke zurückgeblieben wäre. Hierauf beruhen, wie ich glaube, grösstentheils die Abweichungen, welche zwischen den Versuchsresultaten der angeführten Autoren und den Erscheinungen bestehen, welche ich bei der Durchschneidung der beiden Seitenhälften des Rückenmarkes beobachtet habe.

In entgegengesetzter Richtung weichen die Resultate ab, die *Volkmann* [2]) bei der Wiederholung von *van Deen* Versuchen erhielt. Er sah nach der Durchschneidung einer Seitenhälfte stets Lähmung der gleichnamigen Seite unterhalb des Querschnittes. Wahrscheinlich machte *Volkmann* den Querschnitt in der Nähe des Ursprungs der Nerven für die hintere Extremität; in diesem Falle wird allerdings diese Extremität nachgeschleift, so dass sie vollständig gelähmt zu sein scheint, wie dies bereits weiter oben beschrieben wurde. — Die Beschreibung, die *Volkmann* von einem Frosche giebt, dem beide Seitenhälften, die eine oberhalb des Armnerven, durchschnitten waren, stimmt ganz damit überein, wie sich die Thiere in manchen Fälle während einiger Zeit unmittelbar nach der Operation verhalten, besonders wenn die der Schnittwunde zunächst gelegenen Theile des Rückenmarkes bei

1) Untersuch. pag. 250.

2) a. a. O. pag. 553.

der Ausführung der Operation etwas gelitten haben. Der Frosch drehte sich nur mit der einen Extremität, die mit dem Gehirn noch in unmittelbarem Zusammenhang stand, ein wenig hin und her und die Bewegungen, die ohne eine bemerkbare Ursache in den hinteren Extremitäten auftraten, glaubte *Volkmann* mit Recht nicht als willkührliche betrachten zu dürfen, weil sie nur örtlich im Schenkel auftraten, mehr Krämpfen als Ortsbewegungen glichen und sich nur selten mit den Bewegungen der vorderen Extremitäten associirten. Solche Bewegungen kommen in der That nicht selten kurz nach der Operation in Folge centraler Reizung des Rückenmarkes vor und in der vorderen Extremität unterhalb des Querschnittes sind ebenfalls öfters während einiger Zeit nach der Operation keine willkührlichen Bewegungen zu bemerken, wenn der Querschnitt unmittelbar oberhalb des Ursprungs des grossen Armnerven gemacht wird. Ueber das Fortbestehen oder den Mangel der willkührlichen Bewegungen in den hinteren Extremitäten kann bei diesem Versuche nur die Durchschneidung ihrer sensibeln Nervenwurzeln und die längere Zeit nach der Operation fortgesetzte Beobachtung des Thieres Aufschluss geben.

Bei an *Säugethieren* angestellten Versuchen mit Durchschneidung der Seitenhälften des Rückenmarkes habe ich folgende Beobachtungen gemacht.

Einem Hunde wurden beide Seitenhälften des Rückenmarkes, die eine am letzten Brustwirbel, die andere zwischen dem ersten und zweiten Lendenwirbel durchschnitten, so dass beide Schnitte ungefähr einen Zoll von einander entfernt waren. Nach dieser Operation waren die hinteren Extremitäten vollständig gelähmt und die Application der intensivsten Reize auf dieselben hatte keine Schmerzensäusserungen zur Folge. Derselbe Versuch wurde an einem anderen Hunde mit demselben Resultate angestellt. In einem dritten Falle war in der einen hinteren Extremität noch einige Empfindlichkeit zu bemerken; bei Druck auf dieselbe entstanden Bewegungen in den vorderen Körpertheilen. Bei der anatomischen Untersuchung ergab sich jedoch, dass auf dieser Seite der Schnitt nicht bis zur Mittellinie reichte: es war eine ungefähr $^1/_4$ Linie dicke Schichte dieser Seitenhälfte ungetrennt zurückgeblieben.

Einem anderen Hunde wurde nur die *eine Seitenhälfte* des

Rückenmarkes (die linke) am dritten Lendenwirbel mit einer feinen Scheere durchschnitten. Die hinteren Körpertheile wurden nach dieser Operation nachgeschleift. Die linke hintere Extremität war vollständig paralysirt; auf die rechte konnte sich dagegen das Thier noch stützen. Die Bewegungen waren zwar auch in dieser Extremität bedeutend beeinträchtigt, sie bestanden indess noch in geringer Ausdehnung und Intensität fort. Der Schwanz wurde noch hin und her bewegt. Das Gefühl war in beiden hinteren Extremitäten bedeutend beeinträchtigt, selbst stärkere Reize riefen keinen Schmerzenslaut hervor. Wurde aber die Hinterpfote auf der Seite des Querschnittes stark gedrückt, so entstanden konstant Bewegungen in den vorderen Körpertheilen; der Hund wandte häufig den Kopf nach hinten und öfters wurden heftige Anstrengungen zur Flucht gemacht. Dasselbe war der Fall, als diese Extremität mit einem Zündholze gebrannt wurde. Hierauf war sie so empfindlich geworden, dass bei Druck auf dieselbe Stelle einige leise Schmerzenslaute gehört wurden. Bei der anatomischen Untersuchung fand sich die Seitenhälfte vollständig durchschnitten bis auf eine kleine Brücke am Vorderstrang. Nach vollständiger Durchschneidung des Hinter- und Seitenstranges der einen Seite hatte also das Gefühl in der hintern Extremität dieser Seite noch fortbestanden. — Denselben Versuch habe ich nochmals an einem Hunde angestellt, jedoch mit der Modification, dass ich den Querschnitt *weiter oben* an den Rückenwirbeln ausführte. In diesem Falle war das Fortbestehen des Gefühls auf der Seite des Schnittes weit deutlicher. Etwas stärkere Reize, wie Kneipen mit einer Zange brachten auch bei der Application auf die hintere Extremität auf der Seite des Querschnittes Schmerzenslaute hervor. Wurde diese Extremität gedrückt, so suchte das Thier mit der Hinterpfote der andern Seite den drückenden Körper wegzustossen. Bei der Fortbewegung konnte sich das Thier nur auf die Extremität der unverletzten Seite stützen, die andere wurde nachgeschleift. Bei allen Reizen, welche man auf die Extremität auf der Seite des Schnittes anbrachte, wurde dieselbe stark an den Leib angezogen und darauf wieder ausgestreckt. Diese Bewegung liess sich nur durch Reizung der Extremität selbst und auf keine andere Weise, wie z. B. durch Reizung der hinteren Extremität der

anderen Seite u. s. w. hervorrufen; sie lässt sich desshalb nur für eine Reflexbewegung erklären. — Bei der anatomischen Untersuchung ergab sich, dass der Hinter- und Seitenstrang vollständig durchschnitten war; am Vorderstrang war der Medianlinie zunächst eine Brücke zurückgeblieben. Dass das Fortbestehen des Gefühls bei diesen beiden Versuchen nicht durch die durchschnittenen Fasern des Vorderstrangs erklärt werden kann, ist durch die im ersten Abschnitte beschriebenen Versuche nachgewiesen.

In Bezug auf das Fortbestehen des Gefühls stimmen also diese Versuche ganz mit den an Fröschen gemachten Beobachtungen überein. Durch einen Querschnitt, der ganz nahe oberhalb des Ursprungs der Nervenwurzeln für den Unterschenkel ausgeführt war, wurde das Gefühl in demselben im höchsten Grade beeinträchtigt, während derselbe Querschnitt in grösserer Entfernung von der Insertionsstelle der Nervenwurzeln das Gefühl nicht bedeutend störte. *Stilling* [1]) und *Budge* [2]) sahen ebenfalls nach der Durchschneidung der einen Seitenhälfte bei Katzen das Gefühl auf der Seite des Schnittes noch fortbestehen; *Stilling* sah nach Ausführung des Schnittes in der Mitte des Rückenmarkes auch noch einige Bewegungen. Es fragt sich nur, ob bei letzteren Versuchen auch der Vorderstrang vollständig durchschnitten war, was sehr leicht übersehen worden sein kann.

Den angestellten Experimenten zufolge ergiebt sich also:

*dass bei Säugethieren nach der Durchschneidung einer Seitenhälfte des Rückenmarks das Gefühl, bei Fröschen das Gefühl und die willkürliche Bewegung fortbestehen kann.*

Diese Erscheinungen können nur durch die Leitung in der die beiden Seitenhälften des Rückenmarkes verbindenden Commissur zu Stande kommen. Es kommt nun darauf an zu entscheiden, ob die fortbestehende Leitung durch den aus weisser oder durch den aus grauer Substanz bestehenden Theil dieser Commissur vermittelt wird. — Das Fortbestehen der Empfindung

1) *Roser* und *Wunderlich* Archiv pag. 135.

2) Untersuch. über das Nervens. pag. 155 folg.

können wir mit Gewissheit der Leitung in der grauen Substanz, im gewöhnlichen anatomischen Sinne des Wortes, zuschreiben; denn zwischen den beiden Hintersträngen existirt keine weisse Commissur und die vordere weisse Commissur gehört den Vordersträngen an, die nur motorische Fasern enthalten. Um das Fortbestehen der Bewegung zu erklären, kann man allerdings die in dieser vorderen Commissur bestehende Faserkreuzung zu Hülfe nehmen, allein ausser dem Zweifel, ob die Menge der in derselben aus der unverletzten Seitenhälfte in die andere unterhalb des Quersehnittes hinüber tretenden Fasern zur Erklärung jener kräftigen Bewegungen, die nach der Durchschneidung am zweiten oder dritten Wirbel noch fortbestehen, genüge, spricht das Zustandekommen der Empfindung durch die Leitung in der grauen Substanz sehr dafür, dass auch die Bewegung durch die graue Substanz vermittelt wird. Es scheint hierauf auch der Unterschied, der in Bezug auf die Structurverhältnisse zwischen dem Rückenmark des Frosches und der Säugethiere besteht, hinzuweisen. Bei dem Frosche, bei dem nach der Durchschneidung der Seitenhälften die Bewegung noch fortbesteht, hat die graue Commissur im Verhältniss zur Grösse des Rückenmarks eine enorme Breite, während dies in Bezug auf die weisse Commissur nicht der Fall ist.

Ich glaube demnach als Resultat angeben zu können:

*dass Empfindung und willkührliche Bewegung durch die Leitung in der grauen Substanz, im anatomischen Sinne des Wortes, zu Stande kommen kann.*

---

Die im Vorhergehenden angegebenen aus den Experimenten gezogenen Resultate beziehen sich, wie bereits weiter oben bemerkt, alle auf die Leitung in der grauen Substanz, im anatomischen Sinne des Wortes. — Ich versuche es jetzt die Functionen der *Elementartheile*, welche sie bilden, gesondert zu betrachten. Mit Sicherheit können wir über die Function der eigentlichen grauen *körnigen Substanz* (Ganglienkugeln) Nichts aussagen, da wir direkt durch Experimente keinen Aufschluss über dieselbe erhalten können. Die Structur dieser körnigen Substanz ist so verschieden von der der Nervenfasern, von welchen wir mit

Bestimmtheit wissen, dass sie leiten, dass man von diesem Standpunkt aus an der Leitungsfähigkeit derselben zu zweifeln veranlasst werden könnte. Die Erfahrung lehrt indess, dass eine Uebertragung der Reizung von einer Faser auf die andere nur in Organen stattfindet, in welchen Nervenfasern mit grauer Substanz in Berührung kommen. Wir können diese Uebertragung mit grösster Wahrscheinlichkeit als eine Function der körnigen Substanz betrachten. Diese körnige Substanz kann demnach indirekt durch Nervenfasern zu ihr gelangende Erregungszustände auf andere Nervenfasern weiter leiten. Die Eigenschaft der Nerven, durch direkt auf sie applicirte Reize in Erregung versetzt werden zu können, kommt dagegen der körnigen Substanz nicht zu; denn Reizung am Centralkanal hat keine Reaction zur Folge.

Von den *Nervenfasern, welche die graue Substanz durchziehen,* können wir annehmen, dass sie die Eigenschaften besitzen, welche den Nervenfasern im Allgemeinen zukommen, und dass sie, je nachdem sie centripetal oder centrifugal leiten, Gefühl oder Bewegung vermitteln können. Es wirft sich hierbei die Frage auf, ob die Empfindung und Bewegung, welche, wie die Experimente lehren, durch die Leitung in der grauen Substanz, im anatomischen Sinne des Wortes, zu Stande kommt, nur durch die die körnige Substanz durchziehende Nervenfasern vermittelt wird. Es ist diese Frage, ob willkührliche Bewegungen und Gefühl nur durch isolirte Leitung der Nervenfasern oder auch durch die Leitung der körnigen Substanz unabhängig vom Faserverlauf zu Stande kommen könne, von grösster Wichtigkeit für die Nervenphysiologie überhaupt. Denn wären wir genöthigt, das letztere anzunehmen, so müssten sich unsere theoretischen Ansichten über die Nervenleitung total umgestalten. Ihnen zufolge würde es unbegreiflich sein, wie ohne isolirte Leitung für die Ausdehnung des ganzen Faserverlaufs vom Gehirn bis zur Peripherie der Wille eine einzelne isolirte Bewegung exact auszuführen vermöchte, wie das Sensorium zur Kenntniss der Oertlichkeit eines applicirten Reizes gelangen könnte. — Wird die fortbestehende Empfindung und Bewegung bei diesen Experimenten nur durch Nervenfasern vermittelt, so muss in der grauen Commissur eine Faserkreuzung bestehen, wie sie in der weissen existirt. Viele der bei diesen Experimenten gemachten

Beobachtungen sprechen dafür, dass dies wirklich der Fall ist. So die Beobachtung, dass die Bewegung und Empfindung einer Extremität um so mehr beeinträchtigt wird, je näher der Querschnitt durch die eine Seitenhälfte des Rückenmarkes dem Ursprung ihrer Nerven gemacht wird. Ferner (s. pag. 48.), dass die nach der Durchschneidung einer Seitenhälfte zwischen dem vierten und fünften Wirbel in der hinteren Extremität der gleichnamigen Seite beeinträchtigt fortbestehende Bewegung durch einen zweiten Schnitt am zweiten Wirbel aufgehoben wird, während in der hinteren Extremität auf der Seite dieses Schnittes am zweiten Wirbel ein geringer Grad von Bewegung noch fortbesteht. Wenn die unterhalb des Schnittes zwischen dem vierten und fünften Wirbel aus der andern Seitenhälfte herübertretenden Fasern die Bewegung unterhalten haben, so muss sie durch den zweiten Schnitt am zweiten Wirbel, durch welche diese Fasern nothwendiger Weise durchschnitten werden, aufgehoben werden. Die Bewegung in der andern hintern Extremität kann dagegen noch durch Fasern unterhalten werden, die oberhalb des Schnittes zwischen dem 4ten und 5ten Wirbel aus der andern Seitenhälfte hinübertreten.

Demnach glaube ich annehmen zu können:

*Dass die durch die graue Substanz, im anatomischen Sinne des Wortes, vermittelte Bewegung und Empfindung nur durch die in derselben enthaltenen Nervenfasern zu Stande kommt.*

---

Die in diesen Blättern über die Leitung in der grauen und weissen Substanz des Rückenmarkes ausgesprochenen Ansichten stehen am meisten mit den von *Stilling* aufgestellten Sätzen im Widerspruch. Ich gebe desshalb am Ende dieser Abhandlung eine kurze Darstellung von Stilling's Ansicht nebst den Gründen, auf welche er dieselbe stützt, um auf die Ursachen aufmerksam zu machen, durch welche die Resultate Stilling's und die der gegenwärtigen Abhandlung so sehr von einander abweichen.

In der Einleitung (pag. 6.) habe ich bereits Stilling's Ansicht angeführt. Er gelangte auf folgendem Wege zu derselben. Auf seine Versuche mit direkter Reizung und Durchschnei-

dung der hinteren und vorderen Hälfte des Rückenmarkes basirte Stilling den Satz, dass der hintere Theil des Rückenmarkes (d. h. die hintere graue Substanz und die hinteren Stränge) nur Empfindungen und der vordere Theil desselben (d. h. die vorderen Stränge und die vordere graue Substanz) nur Bewegungen vermittele. Er suchte hierauf auch die verschiedenen Functionen der weissen und grauen Substanz zu erforschen und stellte zu diesem Zwecke Versuche an, in welchen er die Hinterstränge ohne die hintere graue Substanz zu verletzen und andere, in welchen er die Vorderstränge ohne Verletzung der vorderen grauen Substanz durchschnitten zu haben glaubte. Nach diesen Operationen sah Stilling die Empfindung und die Bewegung fortbestehen. Stilling will auch das Rückenmark von hinten in der Art eingeschnitten haben, dass die hintere Hälfte desselben nebst der vorderen grauen Substanz durchschnitten wurde, ohne die vordere weisse Substaz zu verletzen, und auf ähnliche Weise auch die vorderen Stränge und die ganze Masse der grauen Substanz durchschnitten haben, so dass nur die Hinterstränge den oberen Theil des Rückenmarks mit dem unteren verbanden. Nach diesen beiden Operationen fand er die willkührliche Bewegung in den Extremitäten unterhalb des Schnittes vollständig erloschen.

Aus diesen Versuchsresultaten schloss Stilling, dass die weisse Substanz, ohne in Verbindung mit der grauen zu stehen, nicht leitungsfähig sei, und dass die vordere weisse Substanz nur von der Axe nach der Peripherie, die hintere nur von der Peripherie nach der Axe des Rückenmarkes leite, keine von beiden aber in der Längsrichtung desselben. Diese Ansicht über die Leitung in der weissen Substanz sucht Stilling auch durch Beobachtungen zu stützen, die er bei Versuchen mit direkter Reizung des Rückenmarkes machte. Er sah bei Reizung des oberen Theils der Vorderstränge Bewegungen der oberen Körpertheile und bei Reizung des unteren Theils derselben Bewegungen in den unteren Theilen; nach der Durchschneidung von einer oder zweien der vorderen Nervenwurzeln konnte er dagegen durch Reizung der Stelle des Vorderstrangs, in welche sich dieselbe inserirten, keine Bewegungen mehr hervorrufen. Hieraus glaubte Stilling folgern zu können, dass jeder Theil der

Vorderstränge die Erregung nur auf die mit ihm verbundenen Nervenwurzeln, nicht aber in der Längsrichtung des Rückenmarkes fortleite.

Aus den oben mitgetheilten, bei den Versuchen mit partieller Durchschneidung des Rückenmarkes erhaltenen Resultaten schloss Stilling weiter, dass die Bewegung vorzugsweise und nur durch die vordere graue Substanz vermittelt werde. Weil er nach der vermeintlich vollständigen Durchschneidung der vorderen weissen Substanz die Bewegung noch fortbestehen sah, so konnte diese, seiner Ansicht nach, nur durch die vordere graue Substanz zu Stande kommen, da er durch seine Versuche mit Durchschneidung der vorderen oder hinteren Hälfte des Rückenmarkes den Beweis geliefert zu haben glaubte, dass der ganze hintere Theil desselben, weisse und graue Substanz, nur sensibel sei. Auf analoge Gründe gestützt, stellte Stilling auch die Behauptung auf, dass die hintere graue Substanz vorzugsweise und nur das Gefühl vermittle.

Bei der Beschreibung der Versuche mit Durchschneidung der hinteren und vorderen Hälfte des Rückenmarkes (pag. 40.) habe ich dargethan, dass auch durch die hintere Hälfte desselben Bewegung und durch die vordere Empfindung vermittelt werden kann. Weiter oben habe ich auch bereits mit Hinweisung auf die Lagerungsverhältnisse der beiden Substanzen im Rückenmarke auf die Unmöglichkeit der Ausführung der Durchschneidung der Vorder- oder Hinterstränge ohne Verletzung der grauen Substanz aufmerksam gemacht (pag. 26.). Die von Stilling zu diesem Zwecke angestellten Versuche können nur darthun, dass ein oberflächlicher Einschnitt in die vordere oder hintere Seite des Rückenmarkes die Bewegung und Empfindung nicht aufhebt. Die Experimente, bei welchen das Rückenmark resp. die ganze Masse der grauen Substanz desselben bis auf die Vorder- oder die Hinterstränge durchschnitten werden soll, sind ohne Verletzung eines Theils der Stränge, die erhalten werden sollen, unausführbar und ausserdem höchst unsicher, wie ich bei der Besprechung der Leitungsfähigkeit der weissen Substanz gezeigt habe. Alle diese Versuche auf dem Wege der Durchschneidung, auf welche Stilling seine Ansicht basirt, ergeben sich demnach theils als unausführbar, theils als ungenau; ebensowenig können die Versuche

mit directer Reizung diese Ansicht stützen. — Durch Reizung der Vorderstränge am ersten und zweiten Wirbel lassen sich bei hinlänglich reizbaren Fröschen (wenn man die Wirbelsäule schnell genug öffnet, zu welchem Zweck man am besten decapitirt und dann den ersten und zweiten Wirbel wegbricht,) Bewegungen in den hinteren Extremitäten hervorrufen (Siehe pag. 30.) und zwar durch Reize, die mit der grössten Vorsicht applicirt wurden, so dass von einer mittelbaren Reizung der vorderen Nervenwurzeln der hinteren Extremitäten keine Rede sein kann. Dass bei Reizung einer Rückenmarksstelle, deren motorische Nervenwurzeln durchschnitten sind, keine Bewegungen mehr eintreten, ist leicht erklärlich, da durch die Durchschneidung der Nervenwurzeln, wenn sie auch mit der grössten Geschicklichkeit ausgeführt wird, das Rückenmark immer etwas durch Zerrung beeinträchtigt wird, und kann um so weniger befremden, da sich, wie bereits angegeben, nur bei reizbaren Individuen, wenn die Eröffnung der Wirbelsäule rasch vorgenommen wird, durch Reizung der Vorderstränge Bewegungen in Theilen hervorrufen lassen, deren Nervenwurzeln in einiger Entfernung von der Reizungsstelle entspringen.

Die Hauptresultate dieser Abhandlung lassen sich in folgenden Sätzen zusammenfassen.

A. In Bezug auf die hierher gehörigen anatomischen und histologischen Verhältnisse des Rückenmarkes:

1) Das Rückenmark besitzt eine mittlere *vordere* und *hintere* Spalte, in welchen sich die betreffenden Stränge glattwandig begränzen, wenn gleich die hintere Spalte enger und weniger deutlich entwikelt ist.

2) Die Commissur, durch welche die beiden Seitenhälften des Rückenmarkes miteinander verbunden sind, besteht vorn aus weisser und grauer, hinten nur aus grauer Substanz.

3) In der vorderen weissen Commissur findet eine Faserkreuzung statt.

4) Auch die graue Substanz enthält, mit Ausnahme der unmittelbar um den Centralcanal gelegenen Parthie, ausser der körnigen Substanz (Ganglienkugeln), Nervenfasern.

5) Wahrscheinlich findet auch eine Kreuzung dieser Nervenfasern der grauen Substanz in der grauen Commissur vor und hinter dem Centralcanal statt.

B. In Bezug auf die Functionen der einzelnen Theile des Rückenmarkes:

1) Die Vorderstränge enthalten nur motorische und keine sensibele Nervenfasern; sie vermitteln nur Bewegung.

2) Die Hinterstränge enthalten nur sensible Nervenfasern; sie vermitteln nur Empfindung.

3) Die Seitenstränge enthalten motorische Fasern. Ob sie sensibele Fasern enthalten oder nicht, liess sich durch die angestellten Versuche nicht entscheiden.

4) Auch die graue Substanz allein kann sowohl Empfindung als Bewegung vermitteln; es ist indess in hohem Grade wahrscheinlich, dass diese Vermittelung der Empfindung und Bewegung nur durch die in der grauen Substanz enthaltenen Nervenfasern zu Stande kommt.

Gedruckt in der Univ. Buchdruckerei von G. D. Brühl I.